ห้องที่ 3:

วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี

ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน สำหรับการปลูกสับปะรด: กรณีศึกษาพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี

FACTORS INFLUENCING ACCEPTANCE OF SOIL ANALYSIS RESULT FOR PINEAPPLE PLANTATION A CASE STUDY OF BAN KHA DISTRICT AREA, RATCHABURI

วิศรุฒ อนันตเดโชชัย
สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: knot.witsarut@gmail.com
รศ.ดร.กนกวรรณ จันทร์เจริญชัย
ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fecokwc@ku.ac.th
ดร.อนิศรา เพ็ญสุข ติ๊บแก้ว
ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: anisara.pensuk@gmail.com

บทคัดย่อ

จากการที่เกษตรกรมีแนวทางการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ส่งผลให้เกษตรบางรายอาจใช้ปุ๋ยไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ทำให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรและผลผลิต เช่น ต้นทุนการผลิต การสะสมสารไนเตรต การเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของดิน เป็นต้น แม้ว่าภาครัฐจะส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน แต่ก็ยังไม่ได้รับการตอบรับจากเกษตรเท่าที่ควร ดังนั้นวัตถุประสงค์การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกสับปะรด กรณีศึกษาพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรที่มีอำนาจการตัดสินใจในการผลิตโดยใช้แบบสัมภาษณ์ จำนวน 210 ตัวอย่าง เพื่อประมาณการผลของสมการถดถอยโลจิสติกส์ (Logistic Regressions) และผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความน่าจะเป็นในการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

ผลการศึกษา พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน ได้แก่ ระยะทางจากครัวเรือนไปศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชน พื้นที่เช่าสำหรับการเพาะปลูก ทัศนคติในการใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยี จากการศึกษาปัจจัยดังกล่าว ภาครัฐควรให้ความสำคัญกับเกษตรกรที่ไม่มีการรวมกลุ่มทางการเกษตร และควรมีนโยบายส่งเสริมเกษตรกรที่มีพื้นที่เช่าในการผลิต เนื่องจากเกษตรกรกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่อาจไม่ได้รับความสำคัญต่อนโยบายในปัจจุบัน แต่ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรอย่างมากในเชิงพื้นที่ นอกจากนี้ควรสร้างทัศนคติและความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยีให้กับเกษตรกร

อย่างต่อเนื่อง เพราะจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินและทำให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างประสิทธิภาพเกิดความยั่งยืนในระยะยาว ต่อไป

คำสำคัญ: การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะดิน, สับปะรด, อำเภอบ้านคา,การวิเคราะห์สมการถดถอยโลจิสติกส์

ABSTRACT

As farmers prefer different fertilizations whereas some is irrelevant to academic principle and results in affect to resources and products such as production cost, nitrate accumulation, soil's property and more. Although government has been promoting appropriate use of fertilizer per soil's analysis result but inadequate response on acceptance. Therefore, this research investigates factors influencing acceptance of appropriate use of fertilizer based on soil analysis result in pineapple plantation in Bankha, Ratchaburi. The researcher had collected 210 samples of farmers who are decision maker through interview. The data was assessed through Logistic Regressions and Marginal Effect to foresee possible factors to accept the soil's result analysis.

The result showed factors that affect acceptance on using soil's analysis result for fertilization are distance from home to community's fertilizer center, rental land for plantation, opinion on technology's usage to increase production and confidence in technology. As a result, the government should target ungrouped farmers and should implement policies toward those who rent the land as they are insufficiently supported at the present and still affect to in land resources. Moreover, building positive viewpoints on trusting technology's usage as to build effective and sustainable resource utilization.

Keywords: Soil Analysis Result, Pineapple plantation, BAN KHA district, Logistic Regression

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

สับปะรดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของไทย โดยประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตสับปะรดขนาดใหญ่ สร้างรายได้ให้กับภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรม จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พบว่า ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 491,117 ไร่ ปริมาณผลผลิต 1,825,527 ตัน คิดเป็นมูลค่าการส่งออกเท่ากับ 439.19 ล้านเหรียญสหรัฐ และจังหวัดราชบุรีถือว่าเป็นแหล่งเพาะปลูกสับปะรดที่มีขนาดใหญ่เป็นลำดับสอง โดยอำเภอบ้านคาถือว่าเป็นพื้นที่ที่การปลูกมากที่สุดของจังหวัด ประมาณ 29,708 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 68.15 ของพื้นที่ปลูกในจังหวัด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ด้วยความเป็นเอกลักษณ์ของพื้นที่และสภาพอากาศในอำเภอบ้านคา จึงทำให้สับปะรดมีลักษณะพิเศษ คือ สีเหลือง สวย กลิ่นหอม รสหวานฉ่ำ ไม่กัดลิ้น จึงได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐให้มีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้น

ในการผลิตสับปะรดให้ประสบความสำเร็จ นอกจากพื้นที่การเพาะปลูก และการเลือกใช้พันธุ์สับปะรดที่ดี ปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโต คือ ปุ๋ย เนื่องจากเป็นแหล่งธาตุอาหารที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งนี้การทำการเกษตรในปัจจุบันเป็นการทำการเกษตรเชิงพาณิชย์ ทำให้เกษตรกรนิยมใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกมากกว่าปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด เพราะเกษตรกรเชื่อว่าปุ๋ยเคมีมีธาตุอาหารที่เพียงพอสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรได้ดีกว่าปุ๋ยอินทรีย์ เกิดความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับการเกษตรเชิงพาณิชย์

ในการเลือกการใช้ปุ๋ยเคมีจะขึ้นอยู่กับอัตราการใส่และชนิดดินที่ปลูก ซึ่งดินในแต่ละพื้นที่จะมีคุณสมบัติเฉพาะที่แตกต่างกัน ทั้งทางเคมี กายภาพ และชีวภาพ ส่งผลให้มีปริมาณธาตุอาหารในดินในแต่ละพื้นที่มีปริมาณธาตุอาหารที่แตกต่างกัน แต่ทว่าพฤติกรรมการใส่ปุ๋ยของเกษตรกรส่วนใหญ่ มีการใส่ปุ๋ยไม่เหมาะสมตามหลักวิชาการ อาศัยจากการบอกกล่าวจากเกษตรกรหรือผู้จำหน่ายปุ๋ย ทำให้เกษตรกร แต่ละรายมีแนวทางการใส่ปุ๋ยที่แตกต่างกัน ก่อให้เกิดผลกระทบต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตของพืช ต้นทุนการผลิต ความต้านทานโรคและแมลง รวมถึงเกิดการสะสมของธาตุอาหารบางชนิดมากเกินความจำเป็น ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของดินในระยะยาว โดยเฉพาะด้านกายภาพ หากมีการใช้ปุ๋ยเคมีที่ไม่เหมาะสมติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลกระทบต่อดินโดยตรง ไม่ว่าจะเป็น ดินแน่น ดินแข็ง ดินเป็นกรดจัด การสะสมสารไนเตรตในดิน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ล้วนแต่ส่งผลกระทบทำให้โครงสร้างของดินทำให้ดินเสียสมดุล (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2562)

จากสถานการณ์ปัจจุบันเกษตรกรต้องประสบปัญหาทางด้านต้นทุนการผลิตที่สูงเนื่องจากราคาปุ๋ยเคมีในท้องตลาดมีการผันผวนด้านราคา หากเกษตรกรไม่มีการวางแผนการผลิตที่เหมาะสม อาจส่งผลต่อผลตอบแทนในระยะยาว ด้วยเหตุนี้แนวคิดการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน จึงเป็นแนวทางที่ภาครัฐเข้ามาส่งเสริมแก่เกษตรกรเพื่อให้สามารถใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามหลักวิชาการ สอดคล้องกับปริมาณธาตุอาหารในดินและปริมาณความต้องการของพืช ทำให้เกษตรกรลดการใช้ปุ๋ยเคมี เพิ่มประสิทธิภาพในการเพาะปลูก ลดต้นทุนในการผลิต และช่วยลดผลกระทบการถูกทำลายของทรัพยากรในดิน

แม้ว่าภาครัฐจะให้ความสำคัญในการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินในการเพาะปลูก ซึ่งมีเกษตรกรบางส่วนให้ความสนใจและนำแนวทางไปใช้ แต่ทว่าแนวทางดังกล่าวยังไม่แพร่หลาย จากรายงานของกรมพัฒนาที่ดิน พบว่า ในช่วงเดือนกันยายน 2564 ถึง กุมภาพันธ์ 2565 เกษตรกรในอำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี มีการส่งตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ธาตุอาหารผ่านระบบ e-Service ของกรมพัฒนาที่ดิน คิดเป็นร้อยละ 0.11 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2565) ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวสามารถประเมินได้ว่า ในการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินตามนโยบายของภาครัฐยังไม่บรรลุตามวัตถุประสงค์เท่าที่ควร ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้ จะเป็นการศึกษาปัจจัยใดที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน เพื่อนำไปวิเคราะห์สนับสนุนนโยบายของภาครัฐในการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดความยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกสับปะรด กรณีศึกษาพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยว

แนวคิดการยอมรับเทคโนโลยี

แนวคิดการยอมรับเทคโนโลยี เป็นแนวคิดของ Roger (2003) ซึ่งได้อธิบายขั้นตอนการยอมรับเทคโนโลยี ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) ขั้นการรับรู้ (Awareness Stage) เป็นขั้นตอนแรกซึ่งจะทำให้เกิดความตระหนักและรับรู้ เกิดความสนใจในเทคโนโลยี (2) ขั้นการสนใจ (Interest Stage) เป็นขั้นตอนที่เริ่มให้ความสนใจและแสวงหารายละเอียดเกี่ยวกับสิ่งใหม่ๆ (3) ขั้นการประเมินค่า (Evaluation State) เป็นขั้นตอนที่นำเอาข้อมูลมาพิจารณา เพื่อตอบสนองความต้องการและประโยชน์ที่ได้รับ (4) ขั้นการทดลอง (Trial Stage) เป็น

ขั้นตอนที่นำเทคโนโลยีไปใช้เพื่อทดลองกับกระบวนการทำงาน เพื่อศึกษาผลลัพธ์ว่าควรนำไปปฏิบัติจริงหรือไม่ และ (5) ขั้นการยอมรับ (Adoption Stage) เป็นขั้นตอนที่เกิดยอมรับเอาเทคโนโลยีมาใช้ในการปฏิบัติเพื่อตอบสนองความต้องการอย่างเต็มที่ หลังจากได้ทดลองปฏิบัติและเห็นประโยชน์ของเทคโนโลยีแล้ว

จากแนวคิดของ Roger แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนในการยอมรับเทคโนโลยี แต่ทว่ายังมีปัจจัยภายนอก เช่น การรับรู้ มุมมอง ทัศนคติ เป็นต้น โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยปัจเจกบุคคล ขึ้นอยู่กับสภาพเศรษฐกิจสังคม วัฒนธรรม ตลอดจนพื้นฐานความรู้ในเรื่องต่างๆ เช่น พื้นฐานทางจิตใจ ทัศนคติและความสามารถในการใช้งานเทคโนโลยี ซึ่งจะส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

การใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเป็นเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ไม่ว่าจะเป็น การเพิ่มปริมาณผลผลิต การลดลงของต้นทุนการผลิต รายได้ของเกษตรกรที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น แต่จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของเกษตรกร จะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีหรือประเด็นที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี เช่น ต้นทุน การใช้งาน เป็นต้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้เทคโนโลยี เช่น ลักษณะส่วนบุคคล ความรู้ความเข้าใจในการใช้เทคโนโลยี ลักษณะด้านเศรษฐกิจและสังคม และปัจจัยที่ด้านการส่งเสริมจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (สุอาภา, 2562)

แนวคิดการวัดประสิทธิภาพการผลิตทางเศรษฐศาสตร์

แนวคิดดังกล่าวเป็นการอธิบายประสิทธิภาพการผลิตและได้รับการยอมรับในระดับสากล ตามแนวคิดของ Farrell (1957) ประกอบด้วย การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิค (TE) เป็นการแสดงความเป็นไปได้ในการผลิต ผ่านเส้นผลผลิตเท่ากัน (Isoquant: IQ) ซึ่งทุกจุดบนเส้น IQ ผู้ผลิตจะใช้ปัจจัยการผลิตที่ต่ำที่สุดในการผลิตสินค้าจำนวน 1 หน่วย และการใช้สัดส่วนปัจจัยการผลิตที่อยู่เหนือเส้น IQ ขึ้นไปจะเป็นการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้ปัจจัยการผลิตที่เหมาะสม ในขณะที่การประสิทธิภาพการผลิตจากการจัดสรรทรัพยากร (AE) จะแสดงผ่านเส้นต้นทุนที่เท่ากัน (Isocost: IC) ดังนั้นหน่วยผลิตที่มีประสิทธิภาพด้านการใช้ทรัพยากรสูงที่สุด เพราะเป็นจุดที่เส้น Isocost สัมผัสกับเส้น Isoquant

จากแนวคิดของ Farrell แสดงให้เห็น เมื่อเกษตรกรมีการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามวิเคราะห์ดินมาใช้ในการผลิตก็จะช่วยให้เกษตรกรสามารถใช้ทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถใช้ปัจจัยในการผลิตได้ต่ำที่สุดบนต้นทุนที่ต่ำเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตในระยะยาว

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Franklin S. Mairura (2022) พบว่า รายได้ แหล่งสินเชื่อ แรงงาน เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการยอมรับเทคโนโลยี สอดคล้อง A.K. Singha and Sony Devi (2013) พบว่า รายได้ การถือครองที่ดินของเกษตรกรและระยะทางไปยังแหล่งขายสินค้าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีด้วยเช่นกัน นอกจากนี้กรมส่งเสริมการเกษตร (2562) อธิบายว่า ระดับการศึกษาเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการยอมรับเทคโนโลยี ในขณะที่ เพศ อายุ ชนิดพืช และประสบการณ์ในการเพาะปลูกไม่มีความสัมพันธ์ต่อการยอมรับเทคโนโลยี สอดคล้องกับ Mariano (2012) พบว่า การที่เกษตรกรมีระดับการศึกษาสูง จะช่วยให้เกิดความเข้าใจในการทำงานของเทคโนโลยี และ Abebe et.al (2013) ได้เสนอว่า เกษตรกรที่มีระดับการศึกษาสูงจะเกิดกระบวนการเรียนรู้ได้ดีกว่าเกษตรกรที่มีระดับการศึกษาต่ำ ในขณะที่งานวิจัยของ Jongeneel (2008) เกษตรกรที่มีระดับการศึกษาสูงจะไม่ให้ความสนใจในกระบวนการแต่จะสนใจรายได้จากแปลงการผลิตมากกว่า ดังนั้นในการยอมรับเทคโนโลยี จึงขึ้นอยู่กับปัจจัยส่วนบุคคลทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกร นอกจากนี้ความรู้ความเข้าใจยังมีความสำคัญต่อการยอมรับเทคโนโลยี

จากการศึกษาของพิสุทธิพันธ์ (2559) พบว่า องค์ความรู้ในการจัดการดิน-ปุ๋ยของเกษตรกร เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี A.K. Singha and Sony Devi (2013) พบว่า การเผยแพร่ข้อมูลและช่องทางในการเผยแพร่จะทำให้เกิดการรับรู้ ซึ่งสอดคล้องกับ Franklin S. Mairura (2022) พบว่า ช่องทางการเข้าถึงเทคโนโลยีของเกษตรกร ทำให้เกิดการยอมรับเทคโนโลยีมากขึ้น โดยผลการศึกษาของ Mariano et al (2012) พบว่า การเรียนรู้ผ่านการมีส่วนร่วมของเกษตรกร จะทำให้เกษตรกรมีทัศนคติเกิดการยอมรับเทคโนโลยี ในขณะที่ กาญจนารมณ์ (2562) อธิบายว่า เกษตรกรไม่สามารถนำผลการวิเคราะห์ไปงานในพื้นที่ และขาดการส่งเสริมการใช้งานโปรแกรมการวิเคราะห์ปริมาณปุ๋ยที่เหมาะสม

จากงานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยส่วนบุคคล มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งแสดงให้เห็นเชิงประจักษ์ว่า ความรู้ความเข้าใจ เป็นเงื่อนไขสำคัญต่อการส่งเสริมการยอมรับเทคโนโลยี ทั้งนี้ปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นการหาคำตอบปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มโอกาสในการยอมรับจึงประมาณการภายใต้การวิเคราะห์การถดถอย (Regressions Analysis) โดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์แบบ Binary Analysis ได้แก่ Logit และ Probit estimation เช่นเดียวกับ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์แมลงศัตรูธรรมชาติของเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่ (มนตรี, 2565) และ ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกอ้อยแบบให้น้ำเสริมในจังหวัดขอนแก่น (วันเฉลิม , 2562)

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำไปสู่กรอบแนวคิดในงานวิจัย ดังภาพที่ 1

แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ประชากรและตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ เกษตรกรที่มีอำนาจการตัดสินใจในการผลิตสับปะรด ในพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี จากข้อมูลของกรมส่งเสริมการเกษตร พบว่า ในปีพ.ศ.2564 มีครัวเรือนเกษตรกรที่

ปลูกสับปะรดที่ลงทะเบียนเกษตรกรกรในพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี จำนวนจำนวน 447 ครัวเรือน และเมื่อใช้ตารางของ Krejcie ในการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่ค่าความคลาดเคลื่อนที่ 0.5 ในการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ที่จำนวนใกล้เคียงกับ 447 ครัวเรือน จะเท่ากับ 460 ครัวเรือน จะได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง 210 ครัวเรือน ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จะดำเนินเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างจำนวน 210 ตัวอย่าง

ในส่วนของกลุ่มตัวอย่างในการทำกระบวนการกลุ่ม (Focus group) ผู้ศึกษาเชิญกลุ่มเกษตรแปลงใหญ่สับปะรดในพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี เพื่อเข้ามาให้แนวทางข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นในประเด็นต่างๆ เกี่ยวกับความเชื่อมั่นของเกษตรกรในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดิน

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.2.1 การรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) ได้จากการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสการยอมรับเทคโนโลยีในด้านการเกษตร จากเอกสาร หนังสือ งานวิจัย บทความทางวิชาการ โดยการรวบรวมจากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องที่มีการเผยแพร่ และสถิติต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

4.2.2 การรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data)

4.2.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสัมภาษณ์ โดยรูปแบบของแบบสัมภาษณ์ในรูปแบบปลายปิด (Close-end) และปลายเปิด (Open-end) ซึ่งจะเป็นการสอบถามถึงข้อมูลจากผู้ตอบแบบสัมภาษณ์ที่เป็นตัวแทนของเกษตรกรในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย 6 ส่วน จำนวน 39 คำถาม โดยประเด็นถามต่างๆ จะเป็นการอธิบายข้อมูลทางด้านเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งข้อมูลของปัจจัยต่างๆ จำนวน 22 ตัวแปร เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน

4.2.1.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการทำกระบวนการกลุ่ม (Focus Group) โดยเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ผู้ศึกษาจะป้อนประเด็นคำถามให้แก่ที่ประชุมกลุ่มผู้ให้ข้อมูล เพื่อให้ที่ประชุมร่วมเสนอข้อมูลและข้อคิดเห็นในประเด็นต่างๆ เกี่ยวกับความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยี

4.3 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (x) และตัวแปรตาม (Y) โดยที่ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มที่มีค่าได้เพียง 2 ค่า (Dichotomous Variable) คือ 1 (เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ) และ 0 (ไม่เกิดเหตุการณ์ที่สนใจ) เท่านั้น ดังนั้นในกำหนดตัวแปรตาม (Y) เป็นผลของการยอมรับการวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกสับปะรด กรณีศึกษา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ของเกษตรกร จึงมีได้เพียง 2 ค่า คือ

Y= 1 คือ “ยอมรับ” การวิเคราะห์ดิน สำหรับการปลูกสับปะรด กรณีศึกษา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างว่า เกษตรกรที่ใช้หรือเคยใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน

Y= 0 คือ “ไม่ยอมรับ” การวิเคราะห์ดิน สำหรับการปลูกสับปะรด กรณีศึกษา อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างว่า เกษตรกรไม่เคยใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน

ในการกำหนดตัวแปรอิสระ (X) มีจำนวนทั้งสิ้น 22 ตัวแปร ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

Gender = เพศ มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Age = อายุ มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Status = สภานะภาพ มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

EDU = ระดับการศึกษา มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

LON = ภาวะหนี้สินครัวเรือน มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Own_Land = การถือครองที่ดิน มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Exp = ประสบการณ์ มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Dis_Soil1 = ระยะทางจากครัวเรือนไปศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชน มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Dis_Soil2 = ระยะทางจากครัวเรือนไปที่จำหน่ายปุ๋ย มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Cost = ต้นทุนการปลูกสับปะรด (บาท/ไร่) มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Income_ap = รายได้เฉลี่ยจากการปลูกสับปะรด (บาท/ไร่) มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Knowledge1 = ความรู้ในการจัดการดินปุ๋ยของเกษตรกร มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Knowledge2 = ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีการวิเคราะห์ดิน มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Member = การเป็นสมาชิก/การรวมกลุ่ม มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Train = การอบรมเกี่ยวกับเทคโนโลยีการเกษตรสมัยใหม่ มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Recommend = การแนะนำเกี่ยวกับการวิเคราะห์ดินของเจ้าหน้าที่ มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Freq = ความถี่ในการใช้เทคโนโลยีวิเคราะห์ดิน มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

No_Land1 = พื้นที่เช่าสำหรับการเพาะปลูกสับปะรด มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

No_Land2 = พื้นที่ตนเองสำหรับการเพาะปลูกสับปะรด มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Rec = การรับรู้ในการจัดการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมต่อการปลูกสับปะรด มีลักษณะเป็นตัวแปรหุ่น

Opinion = ทัศนคติในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดินในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

Reliability = ความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดิน มีลักษณะเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ในครั้งนี้สามารถเขียนแบบจำลองตัวแบบล็อกเชิงเส้น (logarithmic linear) โดยการใช้ Natural log ในสมการ Logit และ Probit ซึ่งเขียนในรูปอย่างง่ายด้วยสมการที่ 1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกสับปะรด กรณีศึกษาพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Y_i = \quad & \beta_0 + \beta_1 Gender_i + \beta_2 Age_i + \beta_3 Statuse_i + \beta_4 EDU_i + \beta_5 LON_i + \beta_6 Own_Land_i \\ & + \beta_7 Exp_i + \beta_8 Dis_Soil1_i + \beta_9 Dis_Soil2_i + \beta_{10} Cost_i + \beta_{11} Income_ap_i \\ & + \beta_{12} Knowledge1_i + \beta_{13} Knowledge2_i + \beta_{14} Member_i + \beta_{15} Train_i \\ & + \beta_{16} Recommend_i + \beta_{17} Freq_i + \beta_{18} No_Land1_i + \beta_{19} No_Land2_i + \beta_{20} Rec_i \\ & + \beta_{21} Opinion_i + \beta_{22} Reliability_i + e_i \end{aligned} \tag{1}$$

เมื่อทำการประมาณค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองข้างต้นเรียบร้อยแล้ว ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการหาค่าผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect) ซึ่งเป็นการใช้วิธีการ Partial derivative ของปัจจัยนั้นๆ เพื่อประเมินผลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความน่าจะเป็น (โอกาส) ในการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งผลกระทบส่วนเพิ่มคำนวณได้จากสัมประสิทธิ์โดยขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแบบจำลอง โดยทั่วไปค่าผลกระทบส่วนเพิ่มจะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่าของระดับคะแนนในตัวแปรอิสระเพิ่มขึ้นจากเดิม 1 หน่วย จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของระดับความน่าจะเป็นของโอกาสในการยอมรับ ดังนั้นจากแบบจำลองข้างต้น สามารถนำมาวิเคราะห์ประมาณค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบส่วนเพิ่มของแต่ละตัวแปรอิสระ

5. ผลการวิจัย

5.1 ลักษณะทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

จากการรวบรวมข้อมูล พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 79.95 มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 50.41 ปี สถานะภาพส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มหัวหน้าครัวเรือน (ร้อยละ 75.71) ระดับการศึกษาส่วนใหญ่ต่ำกว่าระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น (ร้อยละ 76.19) และมีภาระหนี้สิน (ร้อยละ 77.62) มีประสบการณ์ในการปลูกสับปะรดเฉลี่ย 27 ปี ต้นทุนการปลูกสับปะรดอยู่ในช่วง 10,000 – 15,000 บาท/ไร่ (ร้อยละ 44.29) และมีรายได้จากการปลูกสับปะรดในช่วง 20,000 – 25,000 บาท/ไร่ คิดเป็นร้อยละ 64.28 นอกจากนี้จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด พบว่า ร้อยละ 82.86 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้หรือเคยใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน และเกษตรกรส่วนใหญ่มีการรวมกลุ่มเกษตรแปลงใหญ่ คิดเป็นร้อยละ 62.83 โดยมีพื้นที่เฉลี่ย 10.56 ไร่/ครัวเรือน

5.2 การประเมินค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคำนวณการกระจายสะสมตามสถิติ Log-Likelihood

การศึกษาได้ดำเนินการคัดกรองตามความเหมาะสมของสมการที่ใช้ในการประมาณการระหว่าง Logit และ Probit จากค่าสถิติ (ตารางที่ 1) แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบค่าสถิติ Log-Likelihood และค่า Pseudo R^2 จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง Logit และ Probit ซึ่งเป็นการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Goodness of fit) ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง Logit มีค่า Log-Likelihood ที่ดีกว่าแบบจำลอง Probit ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จะใช้แบบจำลอง Logit เป็นแบบจำลองในการศึกษา สำหรับค่า Pseudo R^2 เป็นค่าที่บอกสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นที่สามารถอธิบายความผันแปรของ Logit ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1883

ตารางที่ 1 ค่าสถิติ Log-Likelihood จากแบบจำลอง Logit และ Probit

รายการ	Logit	Probit
Log-Likelihood	-112.45704	-114.93045
Pseudo R^2	0.1883	0.1839

5.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน

ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินในครั้งนี้จะทำการศึกษาจากตัวแปรทั้งหมด 22 ตัวแปร แต่ทว่าค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากแบบจำลอง Logit Model ไม่สามารถแปลผลได้โดยตรงจึงต้องคำนวณค่าผลกระทบส่วนเพิ่มซึ่งสามารถอธิบายผลการศึกษาได้ดังนี้

ตารางที่ 2 การประมาณค่าปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินด้วย Logit Model

ตัวแปรอิสระ	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)	ค่าผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect)	P-Value
Gender	0.1034	0.0219	0.789
Age	0.0082	0.0018	0.709
Status	0.5079	0.1026	0.216
EDU	0.1084	0.0229	0.790
LON	-0.4613	-1.2075	0.298

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ตัวแปรอิสระ	ค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient)	ค่าผลกระทบส่วนเพิ่ม (Marginal Effect)	P-Value
Own_Land	0.8749	1.5829	0.178
Exp	0.0011	0.0002	0.957
Dis_Soil1	0.1047	0.0224	0.066***
Dis_Soil2	-0.0329	-0.0070	0.529
Cost	0.0207	0.0044	0.954
Income_ap	0.2145	0.4498	0.591
Knowledge1	-0.0004	-0.0001	0.959
Knowledge2	-0.0106	-0.0023	0.146
Member	-0.5450	-0.1206	0.163
Train	-0.1203	-0.0259	0.745
Recommend	0.0155	0.0039	0.967
Freq	-0.4962	-0.1082	0.159
No_Land1	0.3496	0.0747	0.000*
No_Land2	-0.0198	-0.0042	0.528
Rec	0.0069	0.0015	0.411
Opinion	2.2943	0.4900	0.002*
Reliability	1.7966	0.3837	0.011**

หมายเหตุ: Variables significant *(p<0.01), **(p<0.5), ***(p<0.1)

จากค่าผลกระทบส่วนเพิ่มในตารางที่ 2 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระต่างๆ ที่มีผลต่อความเปลี่ยนแปลงโอกาสความน่าจะเป็นในการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ระยะทางจากครัวเรือนไปศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชน พบว่า ค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเป็นบวก มีค่าเท่ากับ 0.0224 กล่าวคือ ทุกๆ ระยะทางที่เพิ่มขึ้น 1 กิโลเมตร จะทำให้โอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.24 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ซึ่งไม่สอดคล้องกับสมมติฐาน เนื่องจากสภาพพื้นที่ทั่วไปพบว่า ศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชนตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชนเมือง และเกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่มีการรวมกลุ่มทางการเกษตร เช่น เกษตรแปลงใหญ่ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.)วิสาหกิจชุมชน เป็นต้น ซึ่งได้รับการส่งเสริมจากหน่วยงานทำให้ความรู้ในการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน แต่กลุ่มเหล่านี้มีการกระจายตัวในพื้นที่ ส่งผลให้มีผลกระทบส่วนเพิ่มเป็นบวก ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ตารางไขว้ (Crosstab) ระหว่าง การรวมกลุ่มสมาชิก (Member) และ ระยะทางจากครัวเรือนไปศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชน (Dis_Soil1) พบว่า ที่ระยะทางจากครัวเรือนไปศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชนที่เท่ากัน กลุ่มตัวอย่างของเกษตรกรที่มีการรวมกลุ่มมีจำนวนมากกว่ากลุ่มตัวอย่างที่ไม่ได้รวมกลุ่ม ซึ่งการรวมกลุ่มนอกจากจะลดภาระต้นทุนต่อครั้งจากระยะทางยังมีความได้เปรียบจากการให้บริการของหน่วยงานภาครัฐในพื้นที่ สอดคล้องกับพื้นที่เช่าสำหรับการเพาะปลูกสับปะรด พบว่า ค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเป็นบวก มีค่าเท่ากับ 0.0747 กล่าวคือ ทุกๆพื้นที่เช่าสำหรับการเพาะปลูกสับปะรดที่เพิ่มขึ้น 1 ไร่ จะทำให้โอกาส

การยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 7.47 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 เนื่องจากคนที่เช่าพื้นที่การปลูกกับปะรดส่วนใหญ่ เป็นกลุ่มผู้เช่าสำหรับการทำเกษตรเชิงพาณิชย์ขนาดใหญ่ ดังนั้นการที่มีพื้นที่เช่าเพิ่มขึ้น 1 ไร่ จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้พื้นที่เช่า 1 ไร่ มีโอกาสที่จะยอมรับการใช้เทคโนโลยีเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับทัศนคติในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดินในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต พบว่า ค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเป็นบวก มีค่าเท่ากับ 0.4900 กล่าวคือ เมื่อทัศนคติของเกษตรกรที่เพิ่มขึ้น 1 ระดับ จะทำให้โอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 49.00 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีทัศนคติที่ดีเพิ่มขึ้น ย่อมส่งผลให้เกิดโอกาสการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดิน พบว่า ค่าผลกระทบส่วนเพิ่มเป็นบวก มีค่าเท่ากับ 0.3837 กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีความเชื่อมั่นที่เพิ่มขึ้น 1 ระดับ จะทำให้โอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้นร้อยละ 38.37 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กล่าวคือ เมื่อเกษตรกรมีความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้น ย่อมส่งผลให้เกิดโอกาสการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้น

6. อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดินสำหรับการปลูกสับปะรด ในพื้นที่อำเภอบ้านคา จังหวัดราชบุรี โดยเก็บแบบสอบถามจากเกษตรกรที่มีอำนาจการตัดสินใจในการผลิตสับปะรดในพื้นที่ จำนวน 210 ตัวอย่าง และได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ยเท่ากับ 50.41 ปี สถานะภาพส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มหัวหน้าครัวเรือน ระดับการศึกษาต่ำกว่าระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น และมีภาระหนี้สิน มีประสบการณ์ในการปลูกสับปะรดเฉลี่ย 27 ปี ต้นทุนการปลูกสับปะรดอยู่ในช่วง 10,000 – 15,000 บาท/ไร่ และมีรายได้จากการปลูกสับปะรดในช่วง 20,000 – 25,000 บาท/ไร่ นอกจากนี้จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด พบว่าเกษตรกรมีการรวมกลุ่มเกษตรแปลงใหญ่ โดยมีพื้นที่เฉลี่ย 10.56 ไร่/ครัวเรือน และส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการใช้หรือเคยใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

จากการวิเคราะห์สมการถดถอยแบบโลจิสติกส์ พบว่า ระยะทางจากครัวเรือนไปศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชน มีค่าผลกระทบเชิงบวกที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 ทั้งนี้จาการศึกษา พบว่า ระยะทางจากครัวเรือนไปที่จำหน่ายปุ๋ยทั่วไป ไม่มีผลต่อโอกาสการยอมรับการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เนื่องจากศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชนตั้งอยู่ในพื้นที่ชุมชนเมือง และเกษตรกรในพื้นที่ส่วนใหญ่มีการรวมกลุ่มทางการเกษตรซึ่งมีการกระจายตัวในพื้นที่ ขัดแย้งกับงานวิจัยของ A.K. Singha and Sony Devi (2013) เนื่องจากร้านจำหน่ายปัจจัยการผลิตกระจายตัวอยู่พื้นที่ ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่สามารถหาซื้อปัจจัยการผลิตได้ง่าย ทำให้ปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบในทางบวก ในขณะที่พื้นที่เช่าสำหรับการเพาะปลูกสับปะรดและทัศนคติในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดินในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตมีค่าผลกระทบเชิงบวกที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mariano et al (2012) และปัจจัยความเชื่อมั่นในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดิน มีค่าผลกระทบเชิงบวกที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ทั้งนี้ผลการศึกษายังสอดคล้องกับ กรมส่งเสริมการเกษตร (2562) ที่พบว่า เพศ อายุ และประสบการณ์ในการเพาะปลูกไม่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยี

นอกจากนี้จากผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสในการยอมรับเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินส่วนใหญ่จะเป็นปัจจัยภายนอกที่เป็นปัจจัยปัจเจกส่วนบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง เช่น ระยะทางจากครัวเรือนไป

ศูนย์ผลิตปุ๋ยชุมชน พื้นที่เช่าสำหรับการเพาะปลูกสับปะรด ทัศนคติในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดิน และความน่าเชื่อถือ สอดคล้องกับแนวคิดการยอมรับเทคโนโลยีของ Roger (2003) และ สุอาภา (2562)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. การส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยให้เหมาะสมตามค่าวิเคราะห์ดิน ควรคำนึงถึงเกษตรกรรายย่อยที่ไม่ได้มีการรวมกลุ่มทางการเกษตร เพราะกลุ่มเหล่านี้อาจขาดโอกาสในการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี

2. ในการกำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน ภาครัฐควรพิจารณาเกษตรกรที่มีพื้นที่การเพาะปลูกที่มีจำนวนมาก เพราะเกษตรกรกลุ่มนี้แม้ว่าจะเป็นสัดส่วนจำนวนเกษตรกรที่น้อยเมื่อเทียบกับเกษตรรายย่อย แต่ในลักษณะจำนวนพื้นที่ เกษตรกรกลุ่มนี้จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรในวงกว้าง ดังนั้นหากรัฐมีนโยบายสามารถเข้าถึงเกษตรกรกลุ่มนี้ได้ เช่น ชี้ให้เห็นถึงต้นทุนการผลิตที่ลดลงเมื่อใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน เป็นต้น ก็จะทำให้นโยบายดังกล่าวเป็นนโยบายที่เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลเพิ่มขึ้น

3. เพื่อให้เกิดการขยายผลและการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินเพิ่มขึ้น ควรมีนโยบายในสร้างความเชื่อมั่นและทัศนคติในการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ดินในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพิ่มเพิ่มความเชื่อมั่นในการใช้นำไปสู่การแนะนำเพื่อนเกษตรกรโดยการบอกกล่าว เกษตรกรในวงกว้าง

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรเพิ่มเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อคำถามเชิงลึก เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่หลากหลาย และสามารถนำเอาผลการศึกษามาใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึกเพิ่มขึ้น และสามารถขยายผลการศึกษาไปสู่การติดตามและเปรียบเทียบการผลิต (Productivity) ระหว่างเกษตรกรกลุ่มที่ใช้เทคโนโลยีและไม่ใช้เทคโนโลยีเพื่อเป็นการยืนยันข้อสมมติฐานการยอมรับเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน

8. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร.กนกวรรณ จันทร์เจริญชัย และ ดร.อนิศรา เพ็ญสุข ติ๊บแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ทำให้การศึกษาในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี และขอขอบคุณกลุ่มวางแผนการการใช้ที่ดิน กลุ่มวิเคราะห์ดิน กลุ่มวิชาการเพื่อการพัฒนาที่ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 10 กรมพัฒนาที่ดิน ที่ช่วยให้คำปรึกษาทางเทคนิคการวางแผนสภาพพื้นที่ การวิเคราะห์ที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ รวมถึงเจ้าหน้าที่ สถานีพัฒนาที่ดินราชบุรี กรมพัฒนาที่ดิน ที่อำนวยความสะดวกในการประสานงานเกษตรกร ตลอดจนข้อมูลเชิงลึกในพื้นที่ หากงานวิจัยดังกล่าวมีความผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้ทุกประการแต่เพียงผู้เดียว

9. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. (2562). *ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดิน.* [ออนไลน์]. ค้นหาเมื่อ 15 พฤษภาคม 2565 จาก http://www.ppsf.doae.go.th.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2565). *e-Service ตรวจสอบดินเพื่อการเกษตร.* [ออนไลน์]. ค้นหาเมื่อ 15 มกราคม 2565 จาก www.osd101.ldd.go.th.

กาญจนารมณ์ ทองโปร่ง. (2562). การส่งเสริมการใช้ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ดินของสมาชิกศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชน จังหวัดเพชรบูรณ์. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเกษตาศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 16* , วันที่ 3-4 ธันวาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 3114-3120.

พิสุทธิพันธ์ กิตติชัยณรงค์. (2559). *การยอมรับเทคโนโลยีปุ๋ยสั่งตัดสำหรับผลิตข้าวในพื้นที่อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนตรี สิงหะวาระ. (2565). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับผลิตภัณฑ์แมลงศัตรูธรรมชาติของเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่. *วารสารศิลปศาสตร์และอุตสาหกรรมบริการ*, *5*(1), 252-262.

วันเฉลิม จันทร์ปา. (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการปลูกอ้อยแบบให้น้ำเสริมในจังหวัดขอนแก่น. *แก่นเกษตร*, *47*(4), 749-760.

สุอาภา สกูลนิวัติ. (2562). *ปัจจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการยอมรับเทคโนโลยีปุ๋ยสั่งตัดเพื่อการปลูกข้าว ของสมาชิกศูนย์จัดการดินปุ๋ยชุมชนในจังหวัดสิงห์บุรี.* วิทยานิพนธ์เกษตรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์และสหกรณ์. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *ปัจจัยการผลิต ปี พ.ศ. 2562.* [ออนไลน์]. ค้นหาเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2565 จาก www.oae.go.th.

Abebe, G. K., J. Bijaman and O. Omta. (2013). Adoption of improved potato varieties in Ethiopia: The role of agricultural knowlesge and innovation system and smallholder farmers' quality assessment. *Agricultural Systems, 122*, 22-32.

A.K. Singha and Sony Devi. (2013). Analysis of Factors Influencing Farmers' Knowledge on Resource Conservation technologies (RCTs) in Rice (Oryza sativa L.) Cultivation. *J Agri Sci, 4*, 13-19.

Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, 120*(3), 253-290.

Franklin S. Mairura. (2022). Farm factor influencing soil fertility management patterns in Upper Eastern Kenya. *ScienceDirect*, 1-12.

Jongeneel, R. A., N. B. P. Polman, and H. G. Slangen. (2008). Why are Dutch farmers going multifuctional? *Land Use Policy, 25*, 81-94.

Marino, M. J., R. Villano, and E. Fleming. (2012). Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural Systems, 110*, 41-53.

Roger, E. M. (2003). Diffusion of Innovations. *New York: Free Press*, *14*(5).

การเปรียบเทียบตัวแบบอนุกรมเวลาแบบ SARIMA และแบบ RegSARIMA ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 - 2566

COMPARISON OF SARIMA AND REGSARIMA TIME SERIES MODELS IN FORECASTING VOLUME OF THAILAND'S RUBBER EXPORT, YEAR 2022 - 2023

นิฉา แก้วหาวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: nicha@mathstat.sci.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบ RegSARIMA ในการศึกษาใช้ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 132 เดือน โดยรวบรวมข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ผลการวิจัยพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทยคือตัวแบบ RegSARIMA โดยตัวแบบที่ได้มีค่า MAPE และค่า MAD ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.5272% และ 4.4715 ล้านกิโลกรัม ตามลำดับ โดยมีค่า R-Squared มากที่สุดเท่ากับ 97.6580% ดังนั้นตัวแบบ RegSARIMA จึงเป็นตัวแบบที่มีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบ SARIMA ค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2565 และปี พ.ศ. 2566 มีจำนวน 3,768.7706 ล้านกิโลกรัม และ 4,304.1467 ล้านกิโลกรัม ตามลำดับ

คำสำคัญ: การส่งออกยางพารา, ตัวแบบ SARIMA, ตัวแบบ RegSARIMA

ABSTRACT

The objectives of this research were to study and compare two models of forecasting time series, namely Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average model (SARIMA) and Regression SARIMA model (RegSARIMA). In this research, we used the monthly time series data of the volume of Thailand's rubber export from January 2011 to December 2021 for 132 months. The time series data was gathered from the Office of Agricultural Economics, Ministry of Agriculture and Cooperatives. The results found that the RegSARIMA model was the most suitable model for forecasting the monthly time series data of the volume of Thailand's rubber export. The RegSARIMA model had the lowest MAPE and MAD of 1.5272% and 4.4715 million kilograms, respectively with the highest R-Squared of 97.6580%. The RegSARIMA model was more efficient and accurate forecasting than SARIMA model. The predicted volume of Thailand's rubber export in 2022 and 2023 were 3,768.7706 million kilograms and 4,304.1467 million kilograms, respectively.

Keywords: Rubber Export, SARIMA Model, RegSARIMA Model

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อประเทศในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยที่มีรายได้มาจากการส่งออกยางพาราหลายแสนล้านบาทต่อปี ก่อให้เกิดการสร้างงาน สร้างรายได้ และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับภาคเกษตรและภาคอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกมากมาย อาทิ อุตสาหกรรมผลิตถุงมือยาง ถุงยางอนามัย เฟอร์นิเจอร์ รองเท้า ยางรถยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องมือ และอุปกรณ์การแพทย์ นอกจากนี้ยางพาราในรูปของยางธรรมชาติยังเป็นสินค้าเกษตรที่มีมูลค่าส่งออกสูงสุดนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2545 ถึงปัจจุบัน สำหรับมูลค่าส่งออกสินค้าเกษตรในลำดับรองลงมา ได้แก่ ทุเรียน มันสำปะหลัง ข้าว มังคุด ลำไย หมากมะม่วง ข้าวโพด และพริกสด ตามลำดับ โดยประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและผู้ส่งออกสินค้าและผลิตภัณฑ์ยางพารารายใหญ่ที่สุดของโลก โดยผลผลิตส่วนใหญ่ถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศประมาณร้อยละ 90 ทั้งในลักษณะของยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน น้ำยางข้น ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางบาราตา ยางคอมปาวด์ และผลิตภัณฑ์ยางพาราประเภทอื่นๆ โดยประเทศผู้นำเข้ายางพาราของไทยที่สำคัญ ได้แก่ จีน มาเลเซีย ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ตุรกี อินเดีย บราซิล เกาหลีใต้ สเปน และเนเธอร์แลนด์ ตามลำดับ (กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ, 2565)

ในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ.2564 ปริมาณการส่งออกยางพารามีแนวโน้มขยายตัวอย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.10 ต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ปลูกและพื้นที่กรีดยางพารา รวมถึงการเร่งผลิตเพื่อสนองตอบความต้องการใช้ในตลาดโลกที่สูงขึ้น จากข้อมูลสถิติการส่งออกยางพาราพบว่ายางพาราเป็นสินค้าเกษตรส่งออกอันดับที่ 1 ของไทย โดยมีมูลค่าส่งออกในปี พ.ศ.2564 อยู่ที่ 186,737,910,970 บาท ซึ่งมีอัตราการเติบโตคิดเป็นร้อยละ 60.35 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2563 โดยในปี พ.ศ. 2564 มีปริมาณการส่งออกยางพารามากถึง 3,536,892,386 กิโลกรัม โดยส่งออกสินค้าส่วนใหญ่ในรูปของยางแท่ง น้ำยางข้น และยางแผ่นดิบ โดยมีอัตราการเติบโตที่ร้อยละ 88.30, 24.10 และ 74.50 ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2565) ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการขยายตัวที่เพิ่มมากขึ้น และนับเป็นปีทองของยางพาราไทย โดยมีปัจจัยสำคัญของการเติบโตมาจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ 1) ความต้องการยางพาราในตลาดโลกที่เพิ่มสูงมากขึ้นในช่วงการระบาดของโรคโควิด-19 ส่งผลให้ความต้องการถุงมือยางเพิ่มสูงขึ้นทั่วโลก 2) พฤติกรรมการเดินทางที่เปลี่ยนมาใช้รถยนต์ส่วนตัวเพิ่มขึ้นทำให้การใช้ยางรถยนต์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย และ 3) การฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลกในช่วงครึ่งหลังของปี พ.ศ.2564 ส่งผลให้ความต้องการวัตถุดิบยางพาราในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น โดยในช่วงครึ่งแรกของปีพ.ศ.2565 การส่งออกยางพาราของไทยจะยังเติบโตเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แม้จะเผชิญความท้าทายจากแนวโน้มการระบาดของโรคโควิด-19 ที่เริ่มลดลง แต่ยังมีปัจจัยบวกจากปริมาณน้ำยางในช่วงต้นปีของมาเลเซียหมดลง รวมถึงยางพาราในอินโดนีเซียประสบปัญหาโรคใบร่วง จึงทำให้ขายสู่ตลาดโลกได้ลดลง และการเติบโตของตลาดรถยนต์ในสหรัฐอเมริกาทำให้ความต้องการยางทั่วโลกเพิ่มสูงขึ้น โดยปัจจัยเหล่านี้จะช่วยให้การส่งออกยางพาราของประเทศไทยขยายตัวได้ดีในปี พ.ศ.2565 (รัฐบาลไทย, 2565)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย เพื่อคาดการณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยในอนาคต และเพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนขยายการเพาะปลูกในอนาคต รวมทั้งวางแผนการผลิตยางพาราและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางพาราให้เพียงพอกับการส่งออก ดังนั้นการคาดการณ์ปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทยจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ หากนำเทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลามาช่วยพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยได้ก็จะทำให้ทราบแนวโน้มในอนาคต และทราบได้ว่าช่วงเวลาใดปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยมีการเติบโต โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย เช่น งานวิจัยของเฉลิมพล และ

พัฒนา (2559) ได้ศึกษาตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตและปริมาณส่งออกยางพาราของประเทศไทยโดยใช้ 3 ตัวแบบ คือ ตัวแบบการถดถอยที่มีตัวแปรหุ่นฤดูกาลและแนวโน้มเวลา ตัวแบบ SARIMA และวิธีของโฮลต์-วินเทอร์ ผลการศึกษาพบว่าการพยากรณ์ด้วยตัวแบบการถดถอยเป็นตัวแบบที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า RMSE ต่ำที่สุด ต่อมางานวิจัยของเพชรรัตน์ และรวิพิมพ์ (2564) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแท่ง STR โดยใช้วิธีพยากรณ์ 4 วิธีคือ 1) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล 2) ตัวแบบ ARIMA และ 3) ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียม ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ ARIMA เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 9.730% ต่อมาสุรีรัตน์ และคณะ (2564) ได้ศึกษาการพยากรณ์มูลค่าการส่งออกน้ำยางข้นโดยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และตัวแบบ ARIMA ผลการศึกษาพบว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่ายเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 10.806% ลำดับต่อมาเป็นงานวิจัยของ Chikobvu และ Sigauke (2012) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าในประเทศแอฟริกาใต้โดยใช้ตัวแบบ SARIMA และ RegSARIMA ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ RegSARIMA เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.427% และงานวิจัยของ Karama (2021) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนในประเทศแอฟริกาตะวันออกโดยใช้ตัวแบบถดถอยพหุคูณเชิงเส้น และตัวแบบ RegSARIMA ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ RegSARIMA มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบถดถอย

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาตัวแบบการพยากรณ์ 2 ตัวแบบคือตัวแบบ SARIMA และตัวแบบ RegSARIMA ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย การที่ผู้วิจัยสนใจนำตัวแบบ 2 ตัวแบบนี้มาเปรียบเทียบกันเป็นเพราะว่าตัวแบบ SARIMA เป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาที่กำหนดตัวแบบโดยพิจารณาจากฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยของข้อมูลที่ Stationary ส่วนตัวแบบ RegSARIMA เป็นตัวแบบที่นำตัวแปรอิสระต่างๆ มาคิดร่วมด้วย ซึ่งทั้ง 2 ตัวแบบนี้ใช้แนวคิดของการพิจารณาฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยของข้อมูลในการวิเคราะห์เหมือนกัน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการพยากรณ์และคัดเลือกตัวแบบที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงสุด และใช้ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย โดยผลที่ได้จากการพยากรณ์มีประโยชน์คือจะทำให้ทราบแนวโน้มปริมาณการส่งออกยางพาราในอนาคต และนำค่าพยากรณ์ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการบริหารจัดการส่งเสริมการผลิตยางพาราของประเทศที่เหมาะสมต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของค่าพยากรณ์ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยระหว่างตัวแบบอนุกรมเวลาแบบ SARIMA และแบบ RegSARIMA และใช้ตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยในอนาคต ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2 566

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิของปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทย โดยรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ

Y_t แทน ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย (ล้านกิโลกรัม) เดือนที่ t

ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) มีดังนี้

$X_{1,t}$ แทน หน่วยเวลา (time) เดือนที่ t, t = 1, 2, …, n

$X_{1,t}^2$ แทน กำลังสองของหน่วยเวลา (time) เดือนที่ t, t = 1, 2, …, n

$X_{1,t}^3$ แทน กำลังสามของหน่วยเวลา (time) เดือนที่ t, t = 1, 2, …, n

$X_{2,t}$ แทน ดัชนีฤดูกาลของปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย เดือนที่ t

$X_{3,t}$ แทน ดัชนีความผันแปรแบบผิดปกติของปริมาณการส่งออกยางพาราของไทย เดือนที่ t

3.2 วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 การพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบ SARIMA

การพยากรณ์ตามแนวคิดของบอกซ์-เจนกินส์ (Box-Jenkins: 1967) โดยคำนึงถึงฤดูกาลด้วยวิธี Seasonal autoregressive integrated moving average (SARIMA) หรือตัวแบบพยากรณ์ SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)$_S$ เป็นวิธีพยากรณ์ทางสถิติที่ใช้พฤติกรรมของค่าสังเกตในอดีตอธิบายหรือคาดการณ์แนวโน้มของข้อมูลในอนาคต ซึ่งกำหนดตัวแบบโดยพิจารณาจากฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (Autocorrelation Function : ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย (Partial Autocorrelation Function : PACF) ของข้อมูลที่ Stationary มีสมการดังนี้

$$\begin{aligned}&(1-\phi_1 B-\phi_2 B^2-\ldots-\phi_p B^p)(1-\Phi_1 B^S-\Phi_2 B^{2S}-\ldots-\Phi_P B^{PS})(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t\\&=(1-\theta_1 B-\theta_2 B^2-\ldots-\theta_q B^q)(1-\Theta_1 B^S-\Theta_2 B^{2S}-\ldots-\Theta_Q B^{QS})\varepsilon_t \qquad (1)\end{aligned}$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t, ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่ t

B คือ ตัวดำเนินการย้อนหลังเวลา (Backshift Operator)

$\phi_1,\phi_2,\ldots,\phi_p$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาล

$\theta_1,\theta_2,\ldots,\theta_q$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาล

$\Phi_1,\Phi_2,\ldots,\Phi_P$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวเองแบบมีฤดูกาล

$\Theta_1,\Theta_2,\ldots,\Theta_Q$ คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาล

3.2.2 การพยากรณ์โดยใช้ตัวแบบ RegSARIMA

การพยากรณ์ตามแนวคิดของ Findley และคณะ (1998) เป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ใช้การวิเคราะห์การถดถอยร่วมกับตัวแบบ SARIMA เพื่อใช้แก้ปัญหาในกรณีที่ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ซึ่งการกำหนดตัวแบบจะพิจารณาจากฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยของค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอย โดยตัวแบบ RegSARIMA (p,d,q)(P,D,Q) มีสมการดังนี้

$$\phi(B)\Phi(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D Y_t=\beta_0+\sum_{i=1}^{k}\left[\phi(B)\Phi(B^S)(1-B)^d(1-B^S)^D\right]\beta_i X_{i,t}+\theta(B)\Theta(B^S)\varepsilon_t \qquad (2)$$

โดยที่ Y_t คือ ตัวแปรตาม ณ เวลาที่ t , ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม ณ เวลาที่ t

$X_{i,t}$ คือ ตัวแปรอิสระตัวที่ i ณ เวลาที่ t, i = 1, 2, …, k

β_0 คือ พารามิเตอร์แสดงตัวคงที่ของการถดถอย

β_i คือ พารามิเตอร์แสดงสัมประสิทธิ์การถดถอยตัวที่ i

3.2.3 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error)

เป็นค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อนุกรมเวลา โดยตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์จะต้องมีค่า MAPE ต่ำที่สุด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{MAPE}(\%) = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t}\right| \times 100 \qquad (3)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t, $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t, n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

3.2.4 ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation)

เป็นค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยการพิจารณาความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าพยากรณ์โดยไม่คำนึงถึงเครื่องหมายบวกหรือลบ โดยตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์จะต้องมีค่า MAD ต่ำที่สุด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{MAD} = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|Y_t - \hat{Y}_t\right|}{n} \qquad (4)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t, $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t, n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

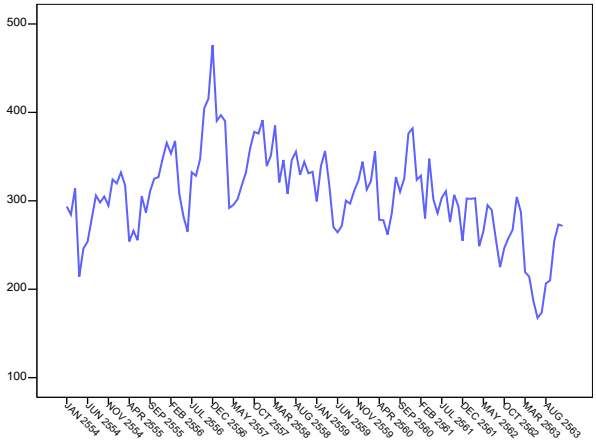
การวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 ใช้ข้อมูลสร้างตัวแบบตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2563 จำนวน 120 เดือน และหาตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละตัวแบบพยากรณ์ และส่วนที่ 2 ใช้ข้อมูลทดสอบตัวแบบตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2564 จำนวน 12 เดือน โดยนำมาเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ล่วงหน้าที่ได้และเลือกตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE และ MAD ต่ำที่สุด

4. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS for Windows ได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMA

การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบ SARIMA นั้นอนุกรมเวลาที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีคุณสมบัติ Stationary กล่าวคืออนุกรมเวลาต้องมีค่าเฉลี่ยคงที่และความแปรปรวนคงที่ ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้นของข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ด้วยกราฟแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2563

จากภาพที่ 1 ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยไม่เป็น Stationary โดยมีแนวโน้มและมีฤดูกาลเชิงคูณเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงต้องปรับข้อมูลโดยการหาผลต่างอันดับที่ 1 แบบ Nonseasonal (d=1) และหาผลต่างอันดับที่ 1 แบบ Seasonal (D=1) เพื่อทำให้อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในระดับเดียวกัน และนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย (PACF) เพื่อใช้ในการกำหนดอันดับที่ p, P, q และ Q ในตัวแบบ SARIMA พบว่า อนุกรมเวลา Y ที่มีการหาผลต่าง d=1 และ D=1 มีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ Lagที่ 1, 11, 12, และ 23 และมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย ณ Lagที่ 1, 11 และ 16 ตามลำดับ และทำการวิเคราะห์ตัวแบบ SARIMA ที่เป็นไปได้ โดยตัวแบบที่มีความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์เมื่อวัดด้วยค่า MAPE ต่ำที่สุด 3 อันดับ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณการส่งออกยางพาราของไทยด้วยตัวแบบ SARIMA ที่มี MAPE ต่ำสุด 3 อันดับ

ตัวแบบ	MAPE (%)	R-Squared (%)
1. SARIMA(0,1,(1,4,23))(1,1,(2))	7.1081	70.3893
2. SARIMA(0,1,(1,16,23))(0,1,1)	7.1941	68.9525
3. SARIMA((16),1,(1,23))(0,1,1)	7.2278	68.9019

จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวแบบ SARIMA ที่เหมาะสมที่สุด คือ SARIMA(0,1,(1,4,23))(1,1,(2)) เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด โดยมีสมการตัวแบบคือ

$$(1-\Phi_1 B^{12})Y_t' = (1-\theta_1 B-\theta_4 B^4-\theta_{23}B^{23})(1-\Theta_2 B^{24})\varepsilon_t \quad (5)$$

$$Y_t' = \Phi_1 Y_{t-12}' - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_4\varepsilon_{t-4} - \theta_{23}\varepsilon_{t-23} - \Theta_2\varepsilon_{t-24} + \theta_1\Theta_2\varepsilon_{t-25} + \theta_4\Theta_2\varepsilon_{t-28} + \theta_{23}\Theta_2\varepsilon_{t-47} + \varepsilon_t \quad (6)$$

โดยที่ $Y_t' = (1-B)(1-B^{12})Y_t$ และมีสมการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t' = \hat{\Phi}_1 Y_{t-12}' - \hat{\theta}_1 e_{t-1} - \hat{\theta}_4 e_{t-4} - \hat{\theta}_{23} e_{t-23} - \hat{\Theta}_2 e_{t-24} + \hat{\theta}_1\hat{\Theta}_2 e_{t-25} + \hat{\theta}_4\hat{\Theta}_2 e_{t-28} + \hat{\theta}_{23}\hat{\Theta}_2 e_{t-47} \quad (7)$$

และทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดได้ค่าแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ SARIMA(0,1,(1,4,23))(1,1,(2))

Process	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์	Standard Error	t	p-value
MA1	$\hat{\theta}_1$	0.35136	0.090	3.890	0.00017
MA4	$\hat{\theta}_4$	0.26340	0.087	3.013	0.00319
MA23	$\hat{\theta}_{23}$	0.38524	0.095	4.072	0.00009
SAR1	$\hat{\Phi}_1$	-0.89572	0.077	-11.614	0.00001
SMA2	$\hat{\Theta}_2$	0.62180	0.158	3.933	0.00014

สมการตัวแบบ SARIMA(0,1,(1,4,23))(1,1,(2)) มีความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อวัดด้วยค่า MAPE เท่ากับ 7.1081% และค่า MAD เท่ากับ 21.2896 ล้านกิโลกรัม โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 70.3893%

4.2 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบ RegSARIMA

ในเบื้องต้นต้องวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทย (Y) กับตัวแปรอิสระแต่ละตัวพบว่าปริมาณการส่งออกยางพารา (Y) มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระ X_2 ในทิศทางเดียวกันโดยมีขนาดความสัมพันธ์มากที่สุดเท่ากับ 0.487 นอกจากนี้ตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับ Y รองลงมา คือ X_1^3 , X_1^2 , X_3 และ X_1 ตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.431, -0.424, 0.398, และ -0.347 ตามลำดับ และนำตัวแปรดังกล่าวมาสร้างสมการถดถอยและคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการด้วยวิธี Stepwise จะได้ตัวแบบการถดถอยพหุคูณคือ

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{1,t}^2 + \beta_3 X_{1,t}^3 + \beta_4 X_{2,t} + \beta_5 X_{3,t} + \varepsilon_t \quad (8)$$

มีสมการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_{1,t} + \hat{\beta}_2 X_{1,t}^2 + \hat{\beta}_3 X_{1,t}^3 + \hat{\beta}_4 X_{2,t} + \hat{\beta}_5 X_{3,t} \quad (9)$$

$$\hat{Y}_t = -479.52454 + 5.88757 X_{1,t} - 0.09908 X_{1,t}^2 + 0.00043 X_{1,t}^3 + 316.85362 X_{2,t} + 407.88021 X_{3,t} \quad (10)$$

และเมื่อเขียนกราฟฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเอง (ACF) และฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย (PACF) ของอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน (e_t) ที่ได้จากสมการถดถอยพหุคูณพบว่าอนุกรมเวลาของความคลาดเคลื่อน (e_t) ที่ได้จากสมการถดถอยพหุคูณมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ Lag ที่ 1, 2, 4, 5, 14, 15, 19, 20, 23 และ 24 และมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย ณ Lag ที่ 1 และ 4 ซึ่งจะใช้ค่าดังกล่าวเพื่อกำหนดอันดับของ p, P, q และ Q ในตัวแบบ RegSARIMA พบว่าตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดคือ RegSARIMA(1,0,2)(0,0,0) มีตัวแบบคือ

$$(1-\phi_1 B)Y_t = (1-\phi_1 B)\,(\beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{1,t}^2 + \beta_3 X_{1,t}^3 + \beta_4 X_{2,t} + \beta_5 X_{3,t}) + (1-\theta_1 B - \theta_2 B^2)\varepsilon_t \quad (11)$$

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \beta_0 + \beta_1 X_{1,t} + \beta_2 X_{1,t}^2 + \beta_3 X_{1,t}^3 + \beta_4 X_{2,t} + \beta_5 X_{3,t} - \phi_1\beta_0 - \phi_1\beta_1 X_{1,t-1} - \phi_1\beta_2 X_{1,t-1}^2 - \phi_1\beta_3 X_{1,t-1}^3 - \phi_1\beta_4 X_{2,t-1} - \phi_1\beta_5 X_{3,t-1} - \theta_1\varepsilon_{t-1} - \theta_2\varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \quad (12)$$

และมีสมการพยากรณ์คือ

$$\hat{Y}_t = (1-\hat{\phi}_1)\hat{\beta}_0 + \hat{\phi}_1 Y_{t-1} + \hat{\beta}_1 X_{1,t} + \hat{\beta}_2 X_{1,t}^2 + \hat{\beta}_3 X_{1,t}^3 + \hat{\beta}_4 X_{2,t} + \hat{\beta}_5 X_{3,t} - \hat{\phi}_1\hat{\beta}_1 X_{1,t-1} - \hat{\phi}_1\hat{\beta}_2 X_{1,t-1}^2 - \hat{\phi}_1\hat{\beta}_3 X_{1,t-1}^3 - \hat{\phi}_1\hat{\beta}_4 X_{2,t-1} - \hat{\phi}_1\hat{\beta}_5 X_{3,t-1} - \hat{\theta}_1 e_{t-1} - \hat{\theta}_2 e_{t-2} \quad (13)$$

โดยค่าประมาณของพารามิเตอร์ในตัวแบบด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมีค่าแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ RegSARIMA(1,0,2)(0,0,0)

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์	Standard Error	t	p-value
Constant	$\hat{\beta}_0$	-373.47897	25.02875	-14.922	0.00001
AR1	$\hat{\phi}_1$	0.80892	0.05852	13.824	0.00001
MA1	$\hat{\theta}_1$	-0.57040	0.08788	-6.491	0.00001
MA2	$\hat{\theta}_2$	-0.44207	0.08891	-4.972	0.00001
X_1	$\hat{\beta}_1$	4.96250	1.44764	3.428	0.00083
X_1^2	$\hat{\beta}_2$	-0.08729	0.02566	-3.402	0.00090
X_1^3	$\hat{\beta}_3$	0.00039	0.00013	3.068	0.00265
X_2	$\hat{\beta}_4$	316.61989	10.30496	30.725	0.00001
X_3	$\hat{\beta}_5$	320.34520	6.59676	48.561	0.00001

สมการตัวแบบ RegSARIMA(1,0,2)(0,0,0) มีความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการพยากรณ์เมื่อวัดด้วยค่า MAPE เท่ากับ 1.9420% และค่า MAD เท่ากับ 5.6766 ล้านกิโลกรัม โดยมีค่า R-Squared เท่ากับ 97.6580%

เมื่อได้ตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละวิธีพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบแล้วจึงทำการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยล่วงหน้าตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 จำนวน 12 เดือน แล้วคำนวณค่า MAPE และค่า MAD แสดงดังตารางที่ 4

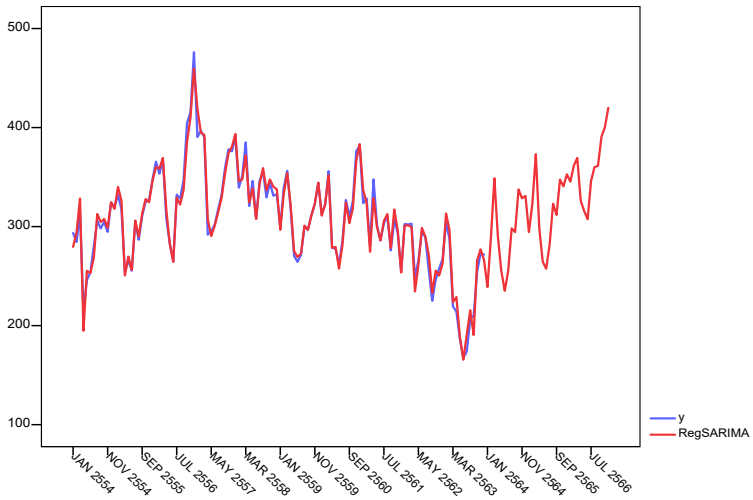
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่า MAPE ค่า MAD และค่า R-Squared ของตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบ

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	ตัวแบบ SARIMA	ตัวแบบ RegSARIMA
1. MAPE (%) คิดจากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ	7.1081	1.9420
MAPE (%) คิดจากข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบ	6.9651	1.5272
2. MAD คิดจากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ	21.2896	5.6766
MAD คิดจากข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบ	21.6572	4.4715
3. R-Squared (%)	70.3893	97.6580

จากตารางที่ 4 พบว่าตัวแบบการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทยที่เหมาะสมที่สุด คือ RegSARIMA(1,0,2)(0,0,0) เนื่องจากให้ค่า MAPE และ MAD ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.5272% และ 4.4715 ล้านกิโลกรัม ตามลำดับ สำหรับการพยากรณ์ที่คิดจากข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบจำนวน 12 เดือน โดยมีค่า R-Squared มากที่สุดเท่ากับ 97.6580% และกราฟเปรียบเทียบค่าที่แท้จริงกับค่าพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 2 และคำนวณค่าพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2565 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2565 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 ด้วยตัวแบบ RegSARIMA(1,0,2)(0,0,0)

เดือน	ค่าพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย (ล้านกิโลกรัม)	
	พ.ศ.2565	พ.ศ.2566
มกราคม	294.4686	345.4203
กุมภาพันธ์	323.1581	361.4941
มีนาคม	373.1701	369.3547
เมษายน	298.2465	326.0147
พฤษภาคม	264.5644	315.7468
มิถุนายน	257.4488	307.4479
กรกฎาคม	281.9708	346.3075
สิงหาคม	323.1060	360.0806
กันยายน	311.7581	361.3139
ตุลาคม	347.4550	390.6050
พฤศจิกายน	340.6480	400.3702
ธันวาคม	352.7761	419.9912
รวม	3,768.7706	4,304.1467



ภาพที่ 2 ค่าที่แท้จริงและค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยด้วยตัวแบบ RegSARIMA

การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทยโดยการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา 2 ตัวแบบคือ ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบ RegSARIMA โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบจำนวน 12 เดือน สรุปได้ว่าตัวแบบ RegSARIMA เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทย เพราะให้ค่า MAPE และค่า MAD ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.5272% และ 4.4715 ล้านกิโลกรัม ตามลำดับ

5. อภิปรายผล

จากภาพที่ 2 พบว่าค่าที่แท้จริงของปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทย (เส้นสีน้ำเงิน) กับค่าพยากรณ์ด้วยตัวแบบ RegSARIMA (เส้นสีแดง) มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์สำหรับข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบจำนวน 120 เดือน และการพยากรณ์สำหรับข้อมูลที่ใช้ทดสอบตัวแบบจำนวน 12 เดือน มีค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.9420% และ 1.5272% ตามลำดับ และยังมีค่า MAD ต่ำที่สุดเท่ากับ 5.6766 และ 4.4715 ล้านกิโลกรัม ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4 การที่ตัวแบบ RegSARIMA เป็นตัวแบบที่ให้ความแม่นยำมากกว่าตัวแบบ SARIMA เนื่องจากมีการนำอนุกรมเวลาของตัวแปรอิสระที่มีผลกระทบกับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์มาคิดร่วมด้วยจึงทำให้ตัวแบบ RegSARIMA มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบ SARIMA ที่มีการใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาเพียงตัวแปรเดียวเท่านั้นในการพยากรณ์โดยไม่มีการนำตัวแปรอิสระมาคิดร่วมด้วย โดยผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Chikobvu และ Sigauke (2012) ที่ว่าตัวแบบ RegSARIMA เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด และยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Karama (2021) ที่ว่าตัวแบบ RegSARIMA มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบการถดถอย นอกจากนี้ตัวแบบ RegSARIMA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ยังมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแบบ ARIMA ที่นำเสนอโดยเพชรรัตน์ และรวิพิมพ์ (2564) และยังมีความแม่นยำมากกว่าวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่ายที่นำเสนอโดยสุรีรัตน์ และคณะ (2564) ดังนั้นจึงทำการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราโดยใช้ตัวแบบ RegSARIMA ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2565 ถึงธันวาคม พ.ศ.2566 แสดงดังตารางที่ 5 พบว่าปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยมีแนวโน้มเติบโตขึ้นเรื่อยๆ โดยค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยในปี พ.ศ.2565 และ พ.ศ.2566 มีจำนวน 3,768.7706 ล้านกิโลกรัม และ 4,304.1467 ล้านกิโลกรัม ตามลำดับ หรือกล่าวได้ว่าในปี พ.ศ.2566 ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยมีการเติบโตคิดเป็น 21.69% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2564

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพารารายเดือนของประเทศไทยที่ได้มาประเมินและวิเคราะห์แนวโน้มอนาคตของปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยได้

(2) สามารถนำค่าพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราของประเทศไทยที่มีแนวโน้มสูงขึ้นมาใช้เป็นแนวทางให้หน่วยงานภาครัฐวางแผนส่งเสริมและสนับสนุนการทำสวนยางให้มากขึ้น รวมทั้งวางแผนพัฒนาและส่งเสริมธุรกิจการส่งออกยางพาราของไทย เช่น การเพิ่มปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางพาราให้มากขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจนำตัวแบบ RegSARIMA ไปใช้ในการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางพาราจำแนกตามประเภทของยางพาราที่ส่งออก เช่น ยางแท่ง น้ำยางข้น และยางแผ่นดิบ เป็นต้น

(2) ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจนำตัวแบบ RegSARIMA ไปเปรียบเทียบกับตัวแบบอื่นๆ ซึ่งอาจให้ค่าพยากรณ์ที่แม่นยำมากกว่า เช่น ตัวแบบ Holt-Winters ร่วมกับ ARIMA และตัวแบบผสม (Hybrid model)

7. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. (2565). *ยางพารา*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 23 สิงหาคม 2565, จาก: https://ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/730300/730300.pdf&title=730300&cate=739&d=0

เฉลิมพล จตุพร และพัฒนา สุขประเสริฐ. (2559). ตัวแบบพยากรณ์ผลผลิตและปริมาณส่งออกยางพาราของประเทศไทย. *Khon Kaen Agriculture Journal*, *44*(2), 219-228.

เพชรรัตน์ เหมือนเพชร และรวิพิมพ์ ฉวีสุข. (2564). การพยากรณ์ปริมาณการส่งออกยางแท่ง (STR) ของประเทศไทยด้วยเทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลา. *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 9*, วันที่ 17-18 มิถุนายน 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 521-533.

รัฐบาลไทย. (2565). *สถิติส่งออกยางพาราไทยขยายตัวเพิ่มขึ้น 61.6% คาดการณ์ ปี '65 ยังเติบโตได้ต่อเนื่อง*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2565, จาก: https://thaigov.go.th/infographic/contents/details/5186

สุรีรัตน์ อนุเพ็ญ, กิตติ พูลเกษม, ธนวรรธน์ รู้สุข และบูรณ์พิภพ ท้าววรรณชาติ. (2564). การพยากรณ์มูลค่าการส่งออกน้ำยางข้นโดยการเปรียบเทียบด้วยวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีฤดูกาลอย่างง่าย และวิธีบ็อกซ์-เจนกินส์. *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการระดับชาติราชภัฏหมู่บ้านจอมบึงวิจัย ครั้งที่ 9*, วันที่ 1 มีนาคม 2564 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง จังหวัดราชบุรี, 1211-1226.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2565). *ข้อมูลสถิติการส่งออกยาง*พารา. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2565, จาก: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?

Chikobvu, D., & Sigauke, C. (2012). Regression-SARIMA modelling of daily peak electricity demand in South Africa. *Journal of the Economic Science Association*, *23*(3), 23-30.

Karama, A. (2021). *East African seasonal rainfall prediction using multiple linear regression and regression with ARIMA errors models*. Ph.D. dissertation. Julius Maximilians Universität Würzburg, Germany.

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุก

INCREASING EFFICIENCY OF THE TRUCK HEAD PAINTING PROCESS

ธนพนธ์ เริงวิจิตรา, ลัทธนันท์ เหลืองเจริญ, สัณหวัช เหม่ากระโทก, ปุณยะวี สุวรรณโชติ,
ณัฐนิช เม่ามูลเฮ, นัทธ์ชนัน มีบุญมาก, วีรวรรณ เหล่าศิริพจน์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: natchanan.4827@mail.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตของกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุกของบริษัท อีซูซุมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด หรือ “IMCT” ให้ได้ตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้ในแต่ละเดือน โดยปรับปรุงกระบวนการซ่อมสี(Touch Up Process) เพื่อให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง และลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ จากการศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตมีความสูญเปล่าเกิดขึ้นกล่าวคือ ในกระบวนการพ่นสีเกิดการรอคอยงาน และเกิดปริมาณข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขในจุดกระบวนการซ่อมสี ทำให้ไม่สามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ทันเวลา ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงทำการปรับปรุงกระบวนการซ่อมสี และลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยวิธีการดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ช่วงซึ่งทำต่อเนื่องกันเป็นขั้นตอน ในช่วงแรกได้ทำการขยายบูธเพื่อลดคอขวดในกระบวนการซ่อมสี และลด Man Hour ในระบบลง ทำให้ค่าประสิทธิภาพการผลิตต่อชั่วโมง (Job Per Hour : JPH) เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าก่อนทำการขยายบูธมีค่า 3.70 JPH และหลังทำการขยายบูธมีค่า 6.13 ซึ่งเพิ่มขึ้น 2.43 JPH คิดเป็น 65.67 % ในช่วงต่อมาได้ทำการใช้เทคนิคการสร้างแรงจูงใจเรียกว่าระบบ “Key Man” ซึ่งเป็นระบบเฉพาะของบริษัทไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน) เพื่อลดปริมาณข้อบกพร่อง ซึ่งค่าก่อนใช้ Key Man มีค่า 6.13 JPH และหลังใช้ Key Man มีค่า 6.88 JPH ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.75 JPH คิดเป็น 12.23 % หลังทำการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้วิธีการดำเนินงานทั้ง 2 ส่วน ให้ได้ตามวัตถุประสงค์ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2565ถึงเมษายน 2565 มีค่าประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มขึ้นรวมเท่ากับ 3.18 JPH คิดเป็น 86.05 %

คำสำคัญ: กระบวนการพ่นสี, กระบวนการซ่อมสี, ความสูญเปล่า, ประสิทธิภาพ

ABSTRACT

The purpose of this research was to increase efficiency of painting process of Isuzu Motors Company (Thailand) Limited or “IMCT” Truck, by improving touch up process for continuous production process and reducing the defects. It was found that there were several wastes in the production line, including waiting jobs and high volume of defects at the touch up process, causing delay in the delivery time. The experimental research was divided into 2 parts continuously. In the first part, the booth was expanded in the touch up process to reduce the bottleneck and reduce man hours in the system, resulting in an increase in production rate or Job per hour (JPH), which was 3.70 JPH before expanding the booth, and after the booth expansion was 6.13 JPH, which corresponded to an increase by 2.43 JPH (65.67%). Next, the motivation technique called the Key Man system

was implemented, which is a unique system of Thai Rung Union Car Public Company Limited for reducing defects in the process, which increased the production rate (JPH) to 12.23 %. After both improvements were executed, from February 2022 to April 2022, total efficiency had been increased for 3.18 JPH which was about 86.05%

Keywords: Painting Process, Touch Up Process, Wastes, Efficiency

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

อุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบันเป็นอุตสาหกรรมที่มีการเติบโตอย่างมาก ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาประเทศในด้านอุตสาหกรรม เป็นธุรกิจที่มีการแข่งขันสูง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ต้องพยายามผลิตให้ได้คุณภาพสูง ราคาที่ถูกกว่า และสามารถส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าได้ตรงเวลาตามที่กำหนด

งานวิจัยฉบับนี้ ได้รับความร่วมมือจากบริษัทไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน) หรือ Thai Rung Union Car Public Company Limited :TRU ซึ่งเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์ ตั้งแต่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ การผลิตแม่พิมพ์ อุปกรณ์จับยึด การผลิตชิ้นส่วน การรับจ้างประกอบ ดัดแปลงรถยนต์ต่างๆ รวมถึงรับทำสีให้รถหลายยี่ห้อ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกกระบวนการซ่อมสี (Touch Up Process) หัวรถบรรทุกของบริษัท อีซูซุมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด หรือ “IMCT” ซึ่งเป็นกระบวนการที่เน้นความสวยงามและคงทนต่อสภาพแวดล้อม ดังนั้นจึงมีกระบวนการที่ละเอียด มีหลากหลายขั้นตอน และมักจะเกิดปัญหาได้ง่าย

จากการศึกษาข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งได้รับอนุญาตจากทางบริษัทให้เปิดเผยข้อมูล พบว่ายอดการผลิตในเดือนมกราคม 2565 ทาง TRU สามารถทำการผลิตจริงได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยเวลาการทำงานปกติสำหรับหัวรถบรรทุก คือ 10.5 ชั่วโมง (ทำงานล่วงเวลา 2 ชั่วโมง) แต่ยังต้องเพิ่มชั่วโมงการทำงานของพนักงานจึงทำให้ได้ผลผลิตทันเวลา และบางครั้งในกระบวนการพ่นสียังเกิดข้อบกพร่องที่ส่งผลต่อรูปลักษณ์ความสวยงามของหัวรถบรรทุก ทำ ให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น และยังมีการเพิ่มกำลังคนให้สอดคล้องกับการเพิ่มยอดผลผลิตในแต่ละเดือน อีกทั้งค่าประสิทธิภาพการผลิตต่อชั่วโมง(JHP) ของกระบวนการซ่อมสีไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนด

จากปัญหาดังกล่าว ทางกลุ่มผู้จัดทำจึงทำการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุกของ IMCT โดยการเพิ่มปริมาณการผลิตในแต่ละเดือนให้ได้ตามแผนที่กำหนดไว้ และการลดต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการให้พนักงานทำงานล่วงเวลาเพื่อที่จะให้ได้ผลผลิตตามเป้าหมาย นอกจากนี้จะทำการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีที่มีข้อบกพร่องเกิดขึ้น ให้มีปริมาณลดลง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุก
2. เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตของกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุกให้ได้ตามแผนการผลิตที่กำหนด

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 หลักการ PDCA Sahatorn Petvirojchai. (2564) เป็นวงจรการบริหารเชิงคุณภาพ เป็นกระบวนการที่ใช้ในการปรับปรุงการทำงานขององค์กรอย่างเป็นระบบ โดยมีเป้าหมายเพื่อแก้ไขปัญหาและพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง โครงสร้าง PDCA ประกอบด้วย

1) Plan (การวางแผน) เป็นขั้นตอนการกำหนดจุดประสงค์ ขอบเขตในการดำเนินงาน กำหนดตัวชี้วัดและตั้งเป้าหมายในการดำเนินการ

2) Do (การปฏิบัติ) เป็นขั้นตอนการปฏิบัติตามแผนที่วางไว้ การบริหารจัดการแบบค่อยเป็นค่อยไป มีความจำเป็น และผู้บริหารต้องทราบถึงความแตกต่างระหว่างบุคคลและพยายามให้พวกเขาได้ปฏิบัติงานอย่างมีความสุขและยึดมั่นกับองค์กร การที่องค์กรมีผู้ปฏิบัติงานที่มีความรู้ความสามารถนับเป็นข้อได้เปรียบขององค์กร

3) Check (การตรวจสอบ) ติดตามผลการดำเนินงานว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่

4) Action (การดำเนินการเพื่อการปรับปรุงแก้ไข) หากแผนที่ดำเนินการประสบความสำเร็จ ก็จะนำแผนนั้นมาประยุกต์ใช้ในองค์กร ณัฏฐ์ณพัชร์ อ่อนตาม. (2562) เมื่อใดก็ตามที่พบว่าการปฏิบัติงานไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ผู้บริหารจำเป็นต้องตัดสินใจไขข้อบกพร่อง มิฉะนั้นจะทำให้กระบวนการประเมินและตรวจสอบจะไร้ผล

3.2 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) สถานีการเรียนรู้เพื่องานส่งเสริมการเกษตร. (2564) เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล โดยแสดงสาเหตุจำนวนมากที่มีผลต่อลักษณะคุณภาพไว้ในแผนภาพเพียงอันเดียวได้อย่างเป็นระบบ ช่วยให้วิเคราะห์สรุปหาสาเหตุของปัญหาทางคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิผล จะแสดงปัญหาหรือผลไว้ที่หัวปลา สาเหตุของปัญหาไว้ที่ตัวปลา ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์จะแสดงอยู่ที่หัวปลา

3.3 ทฤษฎีแรงจูงใจ พัชรินทร์ กลายสุวรรณ (2560) แรงจูงใจ คือ พลังผลักดันให้คนมีพฤติกรรม และยังกำหนดทิศทางและเป้าหมายของพฤติกรรมนั้นด้วย คนที่มีแรงจูงใจสูง จะใช้ความพยายามในการกระทำไปสู่เป้าหมายโดยไม่ลดละ แต่คนที่มีแรงจูงใจต่ำจะไม่แสดงพฤติกรรม หรือไม่ก็ล้มเลิกการกระทำก่อนบรรลุเป้าหมาย โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดแรงจูงใจ มี 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) ปัจจัยจูงใจ (Motivation Factors) เป็นปัจจัยที่สร้างความพอใจให้บุคคลรักงานและชอบงาน ทำให้บุคคลในองค์การปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ปัจจัยค้ำจุน (Hygiene Factors) ปัจจัยที่ค้ำจุนให้แรงจูงใจในการทำงานของบุคคลมีอยู่ตลอดเวลา เช่น เงินเดือน โอกาสในการก้าวหน้าในอนาคต สภาพการทำงาน ความมั่นคงในงาน เป็นต้น

3.4 หลักการบริหาร 4M สำหรับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม ธนิษฐา แก้วปานกัน และคณะ (2564) ในการผลิตจะมีขั้นตอนควบคุมการผลิตเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะสร้างความเชื่อมั่นในผลผลิตที่ได้ให้เกิดกับลูกค้า โดยมีเป้าหมายที่จะควบคุมให้การผลิตมีคุณภาพดี มีความสม่ำเสมอ สามารถผลิตได้ตรงตามเป้าหมาย โดยทั่วไปแล้วมักจะให้ความสำคัญกับการควบคุมปัจจัยหลักที่สำคัญ 4 กลุ่ม ได้แก่ Man, Method, Material และ Machine หรือ “4M” มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 Man คน พนักงาน หรือบุคลากรทั้งจากภายในและภายนอก

3.4.2 Material สิ่งของ วัตถุดิบ ชิ้นส่วนอะไหล่ ผลิตภัณฑ์ บริการหรืออุปกรณ์ ในกระบวนการผลิต

3.4.3 Method วิธีการ ขั้นตอน หรือขบวนการในการทำงานหรือการผลิต

3.4.4 Machine เครื่องจักร เครื่องมือ เครื่องใช้หรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการผลิต

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ หลักการ PDCA, แผนผังแสดงเหตุและผล,ทฤษฎีแรงจูงใจและหลักการบริหาร 4M ในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถนำไปปรับใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น ณัฏฐ์ณพัชร์ อ่อนตาม (2562) ได้นำเสนอเทคนิคการพัฒนาองค์กรให้มีคุณภาพด้วยหลักการบริหารงานแบบ PDCA ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย นับตั้งแต่การบริหารกิจกรรมต่างๆ การทำงานให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล และการบริหารงานในองค์กรของรัฐและเอกชนทั้งในและต่างประเทศ,พัชรินทร์ กลายสุวรรณ (2560) ศึกษาแรงจูงใจในการปฏิบัติงานของพนักงาน พบว่าการสร้างแรงจูงใจในด้านผลการตอบแทนในการทำงานมีระดับแรงจูงใจค่อนข้างมากมากว่าแรงจูงใจในด้านอื่นๆ, วราวุธ บุญมาพบ (2557) ศึกษาการประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง โดยใช้แผนผังก้างปลา เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากกระบวนการก่อสร้าง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงปัญหาและที่มาได้อย่างชัดเจน นำไปสู่การสร้างผังกระบวนการก่อสร้างในรูปแบบใหม่, ธนิษฐา แก้วปานกัน และคณะ (2564) ศึกษาการเพิ่มผลผลิตของสินค้าให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคและลดการสูญเสียของผลิตภัณฑ์ โดยการนำทฤษฎี 4 M 1E เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหา

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา จึงทราบว่ากำไรที่สร้างให้แก่ทางบริษัทส่วนใหญ่จะอยู่ที่การรับจ้างทำสีชิ้นส่วนยานยนต์จากลูกค้าหลายบริษัท โดยกระบวนการผลิตที่ใช้เป็นข้อมูลศึกษาในครั้งนี้จะเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการพ่นสีหัวรถบรรทุก IMCT ที่มีปริมาณแผนการผลิตสูงที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องปรับปรุงและแก้ไขในส่วนต่างๆ เพื่อให้บริษัทมีรายได้ที่เป็นกำไรและไม่ขาดทุน

ตารางที่ 1 การประเมินจากทาง IMCT เพื่อหาค่า JPH ที่ได้ในกระบวนการพ่นสีทั้งหมด

	Process	Manpower preparation (Man)		Evaluation 17 Feb 22		
				Capacity Target 7.40 JPH		
		1st Plan 1,700 U' (Original Plan)	Event PP Trial (17 Feb 22)	Cycle time		Capacity
				min	U'/Skid	JPH
1	Incoming inspection	1	1			
2	Loading To Skid	4	2			
3	EDP	9	10			
4	ED Sand	7	6	7	1	8
5	UBS	3	3	10	2	12
6	Sealing	10	8	8	2	14
7	Sealing Baking			8	1	8
8	Moist Sand	6	4	8	2	15
9	Top Coat	20	18			
10	Inspection 1	2	2	7	1	9
11	FBI Check (Punch list)		1	7	1	9
12	Touch Up	16	16	12	1	5
13	Final Inspection	2	2	9	1	7
14	Loading FG.	4	3	9	1	7
	Spare Man	5	0			
	Total	90	76			

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่ากระบวนการพ่นสีจะมี Touch Up Process ที่มีค่า JPH ยังไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งได้ค่า JPH เพียง 5 JPH โดยมีขอบเขตระยะเวลาการศึกษาตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2565 – เมษายน 2565 ซึ่งค่าเป้าหมายของ JPH ในเดือนเมษายน เท่ากับ 6.61 JPH

4.2 วิเคราะห์สภาพของปัญหา

จากปัญหาที่ Touch up process มีค่า JPH ไม่ถึงเป้าหมาย ดังตารางที่ 1 มีหลายสาเหตุ จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือ แผนผังก้างปลาและหลักการบริหาร 4M ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของการที่ Touch up process มีค่า JPH ไม่ถึงเป้าหมาย จึงเลือกทำการศึกษาและแก้ไขปัญหาสาเหตุในส่วนของวิธีการ(Method) โดยแบ่งเป็น 2 ช่วงการดำเนินงาน ดังนี้

4.3 ช่วงแรก (กุมภาพันธ์-มีนาคม) แก้ไขพื้นที่ซ่อมสีกว้างไม่เพียงพอสำหรับรุ่น 4E

4.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ด้านปริมาณก่อนการปรับปรุง (เดือนกุมภาพันธ์ 2022) ในกระบวนการพ่นสีจะมี Touch Up Process ที่มีค่า JPH เพียง 5 JPH โดยมีค่าเป้าหมายของ JPH เท่ากับ 6.61 JPH เนื่องจากค่าที่ได้ยังไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดไว้

4.3.2 กำหนดเป้าหมายและหาสาเหตุของปัญหาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มจำนวน JPH เพื่อให้ได้ปริมาณการผลิตตามเป้าหมายของแต่ละเดือนและลดค่า M.H. (Man-hour) ในกระบวนการผลิต โดยค่า M.H. หมายถึง ชั่วโมงการทำงานของพนักงานต่อ 1 ชิ้น ต่อ 1 คน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา มีดังนี้

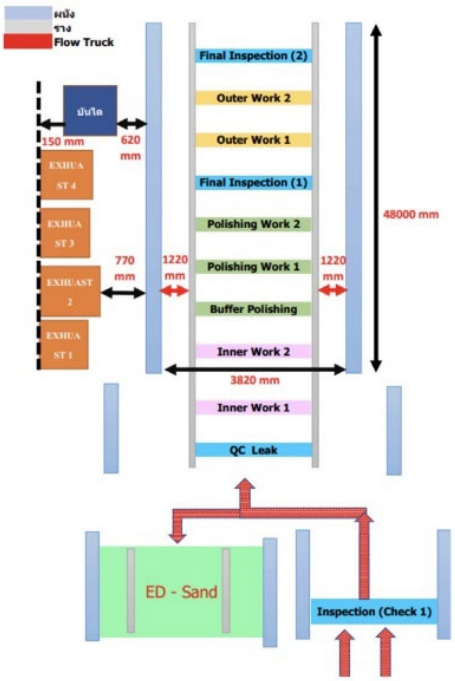
1) เกิดคอขวดที่ Touch Up Process เนื่องจากเส้นทางของกระบวนการพ่นสีของหัวรถบรรทุกมีการเกิดคอขวดในการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน และความกว้างของบูธ Toch Up ไม่สามารถรองรับขนาดหัวรถบรรทุกได้ทุกรุ่น โดยรุ่น 4E ไม่สามารถเปิดประตูเข้ามาใน Touch Up Process ได้ จึงทำให้เกิดการติดขัด เนื่องจากมีความกว้างหัวรถบรรทุกมากกว่าความกว้างขนาดบูธ ดังรูปที่ 2

รูปที่ 2 ความกว้างของหัวรถบรรทุก รุ่น 4E

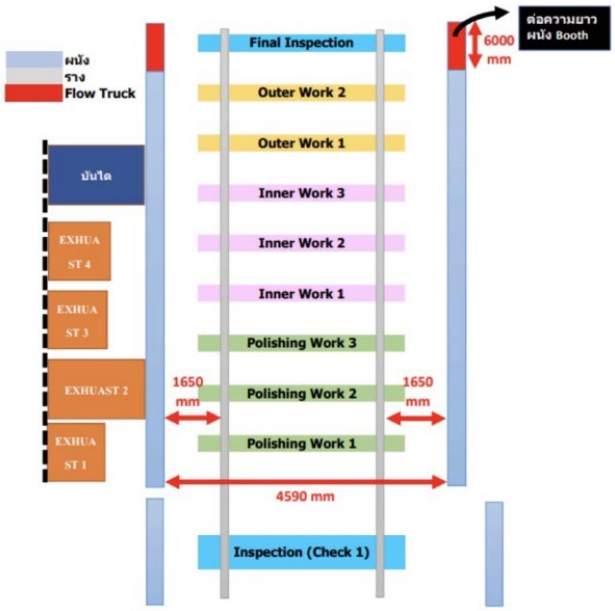
2) Man-hour เพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณการผลิตที่ลูกค้าต้องการเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Man-Hour เพิ่มขึ้นเช่นกัน เป็นสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนของโรงงานสูงขึ้น เพราะใช้เวลาในการทำงานมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลผลิตตามเป้าหมาย และต้องเพิ่มจำนวนพนักงาน ให้สามารถแบ่งงานได้เท่าๆ กัน เพื่อให้บริษัทได้กำไร โดยลดค่า M.H. จึงได้มีการกำหนดจุดคุ้มทุนของบริษัทไว้ที่ 6 M.H. ถ้าค่า M.H. มากกว่าจุดคุ้มทุนก็จะบ่งบอกถึงการทุนของโรงงาน แต่ถ้าหากค่า M.H. ต่ำกว่าก็จะบ่งบอกถึงการได้กำไร

4.3.3 ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุก

โดยออกแบบและวัดความกว้างของบูธที่สามารถขยายออกได้สูงสุด ทำการวัดโดยคำนึงถึงข้อจำกัดและสภาพแวดล้อมโดยรอบของ Touch Up Process จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า สถานี Inner Work2 เกิดคอขวดเพราะ Dolly รุ่น 4E ไม่สามารถเข้ามาทำสีภายในได้ เนื่องจากรุ่น 4E มีขนาดใหญ่เกินไป และทำการย้าย Inspection Check1 มาอยู่ตำแหน่งเดียวกับ QC Leak เพื่อแก้ไขปัญหาเส้นทางการไหลระหว่าง ED-Sanding กับ Touch Up ทำการออกแบบผ่านโปรแกรม Excel เมื่อทำการออกแบบดังรูปที่ 4 พบว่าหลังจากขยับบันไดและผนังด้านซ้ายสามารถขยายพื้นที่ได้สูงสุด 770 mm. ทำให้มีความกว้างสถานี Inner Work2 เป็น 4590 mm. สรุปได้ว่า หัวรถบรรทุกรุ่น 4E สามารถเข้าไปซ่อมสีภายใน Inner Work2 ได้ นอกจากนี้ ย้ายสถานี Polishing มาอยู่ หน้าสถานี Inner เนื่องจาก Inner Work ใช้เวลาในการซ่อมสีมากกว่า Polishing รวมถึงเพิ่มสถานีอย่างละ1 สถานี และต่อผนังบูธยาวออกไปสำหรับสถานีไฟนอล ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 บูธก่อนปรับปรุง



รูปที่ 4 บูธหลังปรับปรุง

4.4 ช่วงหลัง (มีนาคม-เมษายน) แก้ไขในเรื่องกระบวนการสร้างของเสียจำนวนมาก

จากการแก้ไขปัญหาในช่วงแรก แก้ไขพื้นที่ซ่อมสีกว้างไม่พอสำหรับรุ่น 4E ด้วยวิธีขยายบูธแล้ว ทำให้เดือนมีนาคมมีค่าประสิทธิภาพการผลิตต่อชั่วโมง (JPH) เฉลี่ย เท่ากับ 6.16 JPH ซึ่งไม่เพียงพอต่อเป้าหมายในเดือนเมษายนที่ต้องการ 6.61 JPH จึงต้องมีการดำเนินการเพิ่ม JPH ขึ้น ให้เท่ากับหรือมากกว่าเป้าหมายที่กำหนด โดยดำเนินการแก้ไขในหัวข้อสาเหตุกระบวนการผลิตสร้างของเสียจำนวนมาก ดังนี้

1. สำรวจข้อบกพร่องของหัวรถบรรทุกก่อนปรับปรุง เนื่องจากสาเหตุของขอบกพร่องมีหลายรูปแบบ เกิดขึ้นได้จากการทำงานของหลายแผนก จึงจำเป็นต้องการแยกข้อบกพร่อง และปัญหา ออกเป็นแต่ละแผนก เพื่อให้ง่ายต่อการแก้ไข

2. กำหนดเป้าหมายและระบบสร้างแรงจูงใจในการทำงานให้พนักงานทุกแผนก โดยใช้ระบบสร้างแรงจูงใจที่เรียกว่า “Key Man” ซึ่งเป็นระบบที่ทางบริษัทกรณีศึกษาใช้ในการสร้างแรงจูงใจในการทำงานให้พนักงงาน ทั้ง 4 แผนก คือ แผนก EDP, แผนก ED-Sand , แผนกซีล (Sealing) และแผนกพ่นสี(Topcoat) เพื่อเป้าหมายรางวัล 3 รางวัล ได้แก่

1) การปิดปัญหาประจำเดือน แจกรางวัลให้แผนกที่ปิดใบสั่งในเดือนนั้นๆ ได้มากที่สุด โดยมากกว่าหรือเท่ากับ 50% ของเดือนก่อนหน้า

2) การลดข้อบกพร่องต่อหน่วยหัวรถบรรทุก (Defect Per Unit: DPU) ของแต่ละเดือนลงได้ 30% จากเดือนก่อนหน้า

3) การเพิ่มค่า JPH ให้ได้มากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของเดือนก่อนหน้า เพื่อลดข้อบกพร่องของการพ่นสีในแต่ละกระบวนการ

3. ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุก

1) หัวหน้าแผนกถ่ายรูปปัญหาที่เกิดขึ้นกับหัวรถบรรทุก เมื่อหัวรถบรรทุกอยู่ในแผนกของตน และรายงานปัญหาที่พบในแผนกที่รับผิดชอบ

2) รวบรวมและบันทึกปัญหาที่เกิดขึ้นประจำวันลงในใบแจ้งปัญหา (ใบสั่ง)

3) จัดประชุมหัวหน้าแผนกทั้ง 4 แผนก เพื่อหาสาเหตุและวิธีแก้ไขปัญหา

4) พนักงานแต่ละแผนกดำเนินการแก้ไขปัญหา

5) บันทึกผลการดำเนินการปิดใบสั่งของแต่ละแผนก

5. ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและดำเนินการแก้ไขปัญหาเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตของกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุกให้ได้ตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้ในแต่ละเดือน ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ช่วง ช่วงแรกปรับปรุงกระบวนการให้สามารถทำการผลิตได้อย่างต่อเนื่องและช่วงหลังลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง และภาพรวมในการเพิ่มประสิทธิภาพ มีรายละเอียดดังนี้

5.1 เปรียบเทียบจำนวนปริมาณการผลิตของหัวรถบรรทุกต่อ 1 ชั่วโมง (JPH) ก่อนและหลังปรับปรุงการแก้ปัญหาพื้นที่ซ่อมสีกว้างไม่พอสำหรับรุ่น 4E

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลผลการปรับปรุงก่อนและหลังปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการพ่นสีของหัวรถบรรทุก IMCT

	Jan-22				Feb-22				Mar-22				
	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W1	W2	W3	W4	W5
Out Put	12.0	24.0	36.0	36.0	37.6	50.7	53.8	50.0	49.3	55.0	52.2	31.6	22.0
Working Hrs	12.5	12.5	14.5	14.5	13.7	14.2	12.5	12.0	11.7	9.2	8.5	4.5	3.0
JPH Target	2.68	2.68	2.68	2.68	4.76	4.76	4.76	4.76	5.20	5.20	5.20	5.20	5.20
JPH Actual	0..96	1.92	2.48	2.48	2.74	3.58	4.32	4.17	4.21	5.98	6.16	7.10	7.22
	2.0				3.7				6.1				
Manpower Usage	12.0	12.0	12.0	14.0	14.0	16.0	16.0	12.3	16.0	18.0	16.0	12.8	13.0
M.H. Actual	12.5	6.3	4.8	5.6	5.1	4.5	3.7	3.0	3.8	3.0	2.6	1.8	1.8
M.H. Actual Avg	7.3				4.1				2.6				

โดยข้อมูลในตารางที่ 2 จะมีข้อมูลในเดือนมกราคม 2022 เป็นข้อมูลก่อนเก็บจริง และข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ 2022 เป็นข้อมูลที่ได้เริ่มทำการเก็บข้อมูล เพื่อศึกษาปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจริง จากข้อมูลในสัปดาห์ที่ 4 สังเกตได้ว่าจำนวนพนักงานทาง TRU ลดลง เนื่องจากการติดโรคระบาด Covid-19 จึงทำให้ค่า JPH ลดลง จากนั้นได้ดำเนินงานปรับปรุงการแก้ปัญหาพื้นที่ซ่อมสีกว้างไม่พอตามวิธีที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งหลังดำเนินการปรับปรุงคือในเดือน มีนาคม 2022 พบว่าได้ผลค่า JPH เพิ่มขึ้นและ M.H. ลดลง อย่างชัดเจน ดังแสดงในตารางที่2

เมื่อพิจารณาจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ต่อชั่วโมง ก่อนปรับปรุงแก้ไขประสิทธิภาพของการผลิตของเดือนกุมภาพันธ์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.70 JPH และหลังทำการปรับปรุงแก้ไขควบคุมการผลิตด้านปริมาณ ได้ประสิทธิภาพของการผลิตของเดือนมีนาคมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.13 JPH ซึ่งเพิ่มขึ้น 65.67%

จากตารางที่2 จะเห็นว่าจำนวนชั่วโมงการทำงานของ 1 คนต่อชิ้น (M.H.) ก่อนปรับปรุงแก้ไข Man Hour ของเดือนกุมภาพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.1 M.H. และหลังทำการปรับปรุงแก้ไขควบคุมการผลิตด้านปริมาณ ได้ Man Hour ของเดือนมีนาคม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.6 M.H. ซึ่งลดลง 36.59%

5.2 เปรียบเทียบการลดปริมาณข้อบกพร่องต่อ 1 หัวรถบรรทุก (DPU) ก่อนใช้และหลังใช้ Key Man ในการแก้ปัญหากระบวนการผลิตสร้างของเสียจำนวนมาก

5.2.1 การปิดปัญหาประจำเดือน โดยแจกรางวัลให้แผนกใดที่ปิดใบสั่งเตือนในเดือนนั้นๆได้มากที่สุด แต่ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 50% ของเดือนก่อนหน้า เป็นแผนกที่ได้รับรางวัลไป โดยมี 4 แผนกที่ทำการแข่งขัน โดยแผนก EDP สามารถปิดได้ 38%, แผนก Ed-Sand ปิดได้ 60%, แผนก Seal ปิดได้ 78% และแผนก Paint สามารถปิดได้ 73% ดังนั้นแผนกที่ชนะและได้รับรางวัล ได้แก่ “แผนก Seal”

5.2.2 การลดปัญหาต่อผลิตภัณฑ์ (Defect per Unit: DPU) ของแต่ละเดือนลงได้ 30% จากเดือนก่อนหน้า โดยถูกตรวจสอบโดยพนักงานสถานี QC Check มีการแข่งขันระหว่างแผนก 4 แผนก

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่า DPU ก่อนการใช้ระบบ Key Man กับหลังใช้ ระบบ Key Man ของ 4 แผนก

แผนกที่ร่วมแข่งขัน	DPU ก่อนใช้ระบบ Key Man						DPU หลังใช้ระบบ Key Man					% DPU
	March-2022						April-2022					
	W1	W2	W3	W4	W5	Avg.	W1	W2	W3	W4	Avg.	
EDP	1.99	1.80	1.78	1.67	2.86	2.02	1.66	1.07	1.71	2.13	1.64	18.82
ED-Sand	0.90	1.85	2.90	2.43	2.83	2.18	1.25	1.87	1.31	1.29	1.43	34.40
Seal	5.19	4.65	2.12	1.25	1.84	3.01	1.65	1.68	1.94	2.06	1.81	39.87
Paint	11.66	12.06	14.61	14.72	15.32	13.68	13.12	11.77	13.08	13.88	12.96	5.26

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าแผนกที่เป็นผู้ชนะรางวัลในหัวข้อการลดปัญหาต่อผลิตภัณฑ์ (DPU) คือ แผนก Seal สามารถลด DPU ลงได้ 39.87% ซึ่งมากกว่าหรือเท่ากับ 30% และมากกว่าแผนกอื่นๆ เมื่อแต่ละแผนกทราบปัญหาและทำการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นตามระบบ Key Man ส่งผลให้ค่า DPU รวมของทุกแผนกลดลง

5.2.3 การเพิ่ม JPH มากกว่าหรือเท่ากับ 20% ของเดือนก่อนหน้า เพื่อลดข้อบกพร่องของการพ่นสีในแต่ละกระบวนการ แผนกซ่อมสี (Toch up) มีค่าเฉลี่ย JPH ก่อนใช้ระบบ Key Man เท่ากับ 6.13 JPH ซึ่งหลังจากใช้ระบบ Key Man มีค่าเฉลี่ย JPH เท่ากับ 6.88 คิดเป็น 12.23% ทั้งนี้แผนกซ่อมสี ไม่สามารถเพิ่ม JPH ได้ตามเป้าหมาย จึงไม่ได้รับรางวัล

จะเห็นได้ว่า การเพิ่มค่าประสิทธิภาพการผลิตต่อชั่วโมง (JPH) โดยทำการปรับปรุงกระบวนการโดยทำการขยายบูธ เพื่อแก้ปัญหาการติดขัดในกระบวนการจนสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ พบว่าค่า JPH เพิ่มขึ้นเท่ากับ 6.13 JPH แต่ยังไม่ถึงค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ จึงใช้ระบบ Key Man สร้างแรงจูงใจให้แต่ละแผนกลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ พบว่าได้ค่า JPH เท่ากับ 6.88 JPH ซึ่งมากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้คือ 6.61 JPH เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพิ่มปริมาณการผลิตและลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสีหัวรถบรรทุก

6. อภิปรายผล

จากกรณีศึกษา (Case Study) ในกระบวนการพ่นสีของบริษัท ไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน) เป็นการวิเคราะห์หาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการพ่นสี เนื่องจากสภาพปัญหาปัจจุบันพบว่าในกระบวนการผลิตมีความสูญเปล่าเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก กล่าวคือกระบวนการพ่นสีเกิดการรอคอยงานและเกิดปริมาณข้อบกพร่องที่ต้องแก้ไขในจุดกระบวนการซ่อมสี จึงไม่สามารถทำการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าได้ตามเวลาที่กำหนด ส่งผลกระทบต่อต้นทุนของบริษัทสูง ขณะเดียวกันกำลังการผลิตในแต่ละวันไม่สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดปริมาณข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยปรับปรุงกระบวนการซ่อมสี(Touch Up Process) โดยวิธีการดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ช่วงซึ่งทำต่อเนื่องกันเป็นขั้นตอน ในช่วงแรกได้ทำการขยายบูธเพื่อลดคอขวดในกระบวนการซ่อมสี และลด Man Hour ในระบบลง ทำให้ค่าประสิทธิภาพการผลิตต่อชั่วโมง (Job Per Hour : JPH) เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าก่อนทำการขยายบูธมีค่า 3.70 JPH และหลังทำการขยายบูธมีค่า 6.13 ซึ่งเพิ่มขึ้น 2.43 JPH คิดเป็น 65.67 % ในช่วงต่อมาได้ทำการใช้ Key Man เพื่อลดปริมาณข้อบกพร่อง ซึ่งค่าก่อนใช้ Key Man มีค่า 6.13 JPH และหลังใช้ Key Man มีค่า 6.88 JPH ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 0.75 JPH คิดเป็น 12.23 % หลังทำการปรับปรุงแก้ไขโดยใช้วิธีการดำเนินงานทั้ง 2 ส่วน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2565ถึง เมษายน 2565 พบว่ามีค่าประสิทธิภาพของการผลิตเพิ่มขึ้นรวมเท่ากับ 3.18 JPH คิดเป็น 86.05 %

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ เป็นกรณีศึกษาจากบริษัทไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้นำหลักการเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา และแก้ไขปัญหา ซึ่งอาจเป็นประโยชน์ต่อบริษัทหากผลการปรับปรุงมีความยั่งยืน

8. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยฉบับนี้เป็นไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับคำแนะนำและความช่วยเหลือ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องพร้อมข้อเสนอแนะจาก ดร.วีรวรรณ เหล่าศิริพจน์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำงานครั้งนี้รวมไปถึงการให้ข้อมูลจาก นายนายธนพนธ์ เริงวิจิตราและคณะ ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์สาขาวิศวกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ รวมทั้งขอขอบคุณความร่วมมืออย่างดีจากบริษัท ไทยรุ่งยูเนี่ยนคาร์ จำกัด (มหาชน) ในการ ให้ข้อมูลทำงานวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวนาม รวมไปถึงผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ทุกคนที่ให้ประสาทวิชาความรู้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งทางกลุ่มผู้จัดทำถือเป็นพระคุณอย่างยิ่งที่ท่านได้มีส่วนช่วยให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จตามจุดประสงค์ทุกประการ ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

9. เอกสารอ้างอิง

ณัฏฐ์ณพัชร์ อ่อนตาม. (2562). เทคนิคการบริหารงานแบบ PDCA (Deming Cycle). *วารสารสมาคมพัฒนาวิชาชีพการบริหารการศึกษาแห่งประเทศไทย,* 1(3), 39-46.

ธนิษฐา แก้วปานกัน และคณะ. (2564). การบริหารจัดการกระบวนการผลิต 4M 1E และการจัดกิจกรรมหลัก 5ส. กรณีศึกษา: บริษัท ยาคูลท์ (ประเทศไทย) จำกัด สาขา อยุธยา. *วารสารวิจัยวิชาการ,* 4(2), 63-70.

พัชรินทร์ กลายสุวรรณ. (2560). *แรงจูงใจในการปฏิบัติงานของพนักงาน บริษัท ไฮเวย์ จำกัด.* ภาคนิพนธ์รัฐประศาสนศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา.

วราวุธ บุญมาพบ. (2557). *การประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างกรณีศึกษา บ้านเดี่ยว 2 ชั้น แบบมาตรฐาน บริษัท ภาพร พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด.* ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สถานีการเรียนรู้เพื่องานส่งเสริมการเกษตร. (2564). *แผนผังก้างปลา (Fish Bone).* [Online]. ค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2565, จาก: https://k-station.doae.go.th/?p=2069.

Sahatorn Petvirojchai. (2564). *PDCA: ความหมาย ประโยชน์ และตัวอย่างใช้ 4 ขั้นตอนเพื่อพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่อง* [Online]. ค้นเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2565, จาก: https://th.hrnote.asia/orgdevelopment/what-is-pdca-210610.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา

DEVELOPMENT OF PLANT BASED PATTY FROM BANANA BLOSSOM AND PEA PROTEIN

สารนิติ์ สวัสดิ์สกุลพงศ์[1], สุนทรี สุวรรณสิชณน์[2] และอุศมา สุนทรนฤรังษี[3]

ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: [1]saranit.s@ku.th, [2]fagisrsu@ku.ac.th, [3]aussama.s@ku.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา และศึกษาผลของอัตราส่วนของหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่ระดับต่างๆ คือ 65:35, 70:30, 75:25 และ 80:20 (โดยน้ำหนัก) ของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์โดยศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีทำให้เนื้อเทียมที่ได้มีสีคล้ำขึ้น (L* ลดลง) มีความแข็งและความยากในการเคี้ยวเพิ่มขึ้น แต่มีค่าแรงตัดลดลงเนื่องจากตัวอย่างเกาะตัวกันน้อยลง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่นและความเหนียวหนืบลดลง ($p \leq 0.05$) ในด้านองค์ประกอบทางเคมีพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีทำให้เนื้อเทียมที่ได้มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต ใยอาหารและเถ้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณโปรตีน ไขมัน พลังงานจากไขมันและพลังงานรวมมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ผลการทดสอบกับผู้บริโภคพบว่า ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่ระดับ 75:25 ได้รับการยอมรับมากที่สุด

คำสำคัญ: เนื้อเทียม, โปรตีนจากพืช, หัวปลี, โปรตีนถั่วลันเตา, เนื้อเทียมเบอร์เกอร์

ABSTRACT

This research aimed to develop plant-based patty from banana blossom and pea protein and study the effects of banana blossom and pea protein at various ratio levels (65:35, 70:30, 75:25 and 80:20 w/w) on physical, chemical and sensory qualities of plant-based patty were determined. It was found that increasing banana blossom ratio resulted in the patty samples that were darker in color (decreased L* value) with harder and chewier but less cohesive and less gummy texture ($p \leq 0.05$). Chemical composition analysis results showed the increases in moisture, carbohydrate, fiber and ash contents and the decreases in protein and fat contents as well as calories from fat and total calorie as banana blossom ratio increased ($p \leq 0.05$). Consumer test results revealed that the patty with banana blossom and pea protein at the ratio of 75:25 was the most preferred sample.

Keywords: Meat Analogue, Plant-Based Protein, Banana Blossom, Pea Protein, Patty

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความใส่ใจในสุขภาพมากขึ้น โดยเน้นบริโภคอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ดังจะเห็นได้จากกระแสความนิยมของอาหารที่ใช้โปรตีนจากพืช (plant based protein) ทดแทนโปรตีนจากสัตว์ เพื่อเพิ่มปริมาณใยอาหาร ลดปริมาณไขมัน ในปี 2019 ตลาดอาหารโปรตีนจากพืชทั่วโลกมีมูลค่า 1.6 หมื่นล้านดอลลาร์ และคาดการณ์ว่าในปี 2024 จะเติบโตขึ้นไปอยู่ที่ 2.5 หมื่นล้านดอลลาร์ ขณะที่ตลาดอาหารโปรตีนจากพืชในประเทศไทยมีอัตราการเติบโตเฉลี่ย 10% และคาดว่าในปี 2024 มูลค่าตลาดจะสูงถึง 4.5 หมื่นล้านบาท (นลิศา เตชะศิริประภา, 2564)

เนื้อเทียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้โปรตีนจากพืชทดแทนเนื้อสัตว์ โดยโปรตีนจากพืชที่นิยมใช้มากที่สุดคือโปรตีนถั่วเหลือง เนื่องจากให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่มีความนุ่ม และยืดหยุ่นคล้ายเนื้อสัตว์ แต่มีข้อเสียคือ มีกลิ่นรสถั่วเหลืองซึ่งเป็นกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของผู้บริโภคบางกลุ่ม (ขจีรัตน์ ระรื่นรมย์ และคณะ, 2543) โปรตีนแหล่งอื่นที่มีการนำมาใช้ได้แก่ โปรตีนถั่วลันเตา (เดือนฉาย ตันนารัตน์ และคณะ, 2565) ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อหาแหล่งโปรตีนจากพืชชนิดอื่นๆ จึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นเพื่อให้ผู้บริโภคได้ใช้เป็นทางเลือกและยังช่วยสร้างความยั่งยืนให้โลกได้มากขึ้นด้วย

หัวปลีเป็นพืชที่มีเส้นใยเหนียวแน่น และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ได้แก่ โปรตีนและแคลเซียม นอกจากนี้ยังมีไขมันต่ำ (Ramu et al., 2017) จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้หัวปลีเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชทดแทนโปรตีนจากสัตว์ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม แต่ในปัจจุบันยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยมากที่ศึกษาการใช้หัวปลีในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ได้แก่ งานพัฒนาผลิตภัณฑ์นักเก็ตเนื้อเทียมรสแกงเขียวหวาน ที่ใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาแทนเนื้อสัตว์ (สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา, 2564)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเบอร์เกอร์โดยใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาทดแทนเนื้อสัตว์ และศึกษาผลของอัตราส่วนของหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่ระดับต่างๆ ต่อคุณภาพของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ที่ได้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เนื้อเทียม

เนื้อเทียมเป็นผลิตภัณฑ์โปรตีนจากพืชที่มีเนื้อสัมผัสและลักษณะปรากฏเลียนแบบเนื้อสัตว์ (meat-like texture product) ส่วนใหญ่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นวัตถุดิบหลักในการแปรรูป จัดเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่เป็นแหล่งของโปรตีนและใยอาหาร โดยสามารถแบ่งเนื้อเทียมได้เป็น 2 ประเภท คือ เนื้อเทียมที่ใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหาร (meat extender) และเนื้อเทียมที่ใช้แทนเนื้อสัตว์ (meat analog) (ขจีรัตน์ ระรื่นรมย์ และคณะ, 2543)

3.2 โปรตีนจากพืช

โปรตีนจากพืช หรือ Plant based protein เป็นโปรตีนทางเลือกที่สำคัญรองจากโปรตีนจากเนื้อสัตว์ แม้ว่าโปรตีนจากพืชชนิดเดียวอาจให้กรดกรดอะมิโนที่มีสัดส่วนไม่ใกล้เคียงกับกรดอะมิโนในโปรตีนจากสัตว์ แต่การใช้โปรตีนจากพืชหลายแหล่งร่วมกันจะสามารถเพิ่มคุณภาพของโปรตีนได้ โปรตีนจากพืชที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein) มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของโปรตีนจากถั่วเหลืองสำหรับใช้ทดแทนโปรตีนเนื้อสัตว์ โดยแปรรูปไปเป็นโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้นซึ่งมีกรด

อะมิโนจำเป็นมากกว่าโปรตีนถั่วเหลืองที่ยังไม่ผ่านกระบวนการ รวมถึงการปรับปรุงเนื้อสัมผัสเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวของเส้นใยซึ่งคล้ายกับเนื้อสัตว์ (Benjamin, 2019) นอกจากนี้โปรตีนถั่วลันเตา (Pea protein) ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากมีโปรตีนสูง (Fatma et al., 2021) โดยโปรตีนถั่วลันเตาได้ถูกนำไปใช้ร่วมกับโปรตีนจากพืชอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม เนื่องจากโปรตีนถั่วลันเตามีโครงสร้างลักษณะคล้ายฟองน้ำ และมีเซลล์อากาศซึ่งมีความสามรถในการดูดซับน้ำได้ดี จึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งและพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวลดลง (เดือนฉาย ตันนารัตน์ และคณะ, 2565)

หัวปลี (Banana blossom) เป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากมีเนื้อสัมผัสเป็นเส้นใยที่เหนียวแน่นคล้ายกับเนื้อสัตว์ และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งโพแทสเซียมและไฟเบอร์ นอกจากนี้ยังมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระสูงอีกด้วย (Rodrigues et al., 2020) คนไทยนิยมนำหัวปลีมาประกอบอาหารต่างๆ เช่น ทอดมันหัวปลี ห่อหมกหัวปลี นอกจากนี้แบรนด์ Better Meat ยังได้นำหัวปลีมาทำหมูสับเจ โดยใช้ร่วมกับโปรตีนถั่วเหลือง กลูเตน น้ำมันพืช ผงบุก และน้ำ เพื่อให้มีเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อหมู ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเส้นใยสูงถึงร้อยละ 11.27 และโปรตีนร้อยละ 17.12 (ช่อลัดดา เที่ยงพุก, 2565) จีระศักดิ์ คำสุริย์ และคณะ (2562) รายงานว่าหัวปลีเป็นอาหารโปรตีนมังสวิรัติชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มผู้บริโภควีแกนของประเทศเยอรมนี เนื่องจากหัวปลีมีเส้นใยเหนียวแน่นคล้ายเนื้อสัตว์ และให้พลังงานต่ำเพียง 17 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม จึงมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากหัวปลี เช่น นำไปชุบเกล็ดขนมปังทอดกรอบ หรือนำไปทำอาหารว่างต่างๆ รุ่งนภา อ่อนชู และคณะ (2563) ใช้หัวปลีทดแทนเนื้อหมูในผลิตภัณฑ์กุนเชียงโดยพบว่า ตัวอย่างที่ใช้หัวปลีทดแทนเนื้อหมูที่ระดับ ร้อยละ 40 มีคะแนนการยอมรับไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ($p>0.05$)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมเนื้อเทียมเบอร์เกอร์

ส่วนประกอบที่ใช้ในการเตรียมเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ ประกอบด้วยหัวปลีของกล้วยพันธุ์กล้วยน้ำว้า, ผงโปรตีนถั่วลันเตา, เมทิลเซลลูโลส (Sigma E127, REF. JX07804) ได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท ยูนิฟาย เคมิคอล จำกัด, ผงปรุงแต่งกลิ่นรส (ตราอังเคิลบาร์นส์ บริษัท อาร์ แอนด์ บี ฟู้ด ซัพพลาย จำกัด, ประเทศไทย) และน้ำมันถั่วเหลือง (ตราองุ่น บริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน), ประเทศไทย)

วิธีการเตรียมหัวปลีทำโดย นำหัวปลีมาปอกเปลือก ลอกเอากาบด้านนอกออก และล้างคราบยางออกให้สะอาดด้วยน้ำเปล่า จากนั้นนำมาหั่นหยาบ และปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม (HR2001, Philips, Netherland) ที่ความเร็วระดับต่ำสุด เป็นเวลา 45 วินาที นำหัวปลีที่ได้ใส่ภาชนะแล้วปิดด้วยฟิล์มยืดและนำไปใช้ภายใน 20 นาที

4.2 การเตรียมเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา

เตรียมเนื้อเทียมเบอร์เกอร์โดยใช้สูตรตามตารางที่ 1 ซึ่งดัดแปลงมาจากสูตรของบริษัท ยูนิฟาย เคมิคอล จำกัด แปรอัตราส่วนของหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่ใช้เป็น 4 ระดับ คือ 65:35, 70:30, 75:25 และ 80:20 (w/w) โดยอัตราส่วนของหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่เลือกมาศึกษาได้มาจากการทดลองเบื้องต้นว่าเป็นอัตราส่วนที่ทำให้สามารถขึ้นรูปเป็นเบอร์เกอร์ได้ดีเมื่อใช้ร่วมกับเมทิลเซลลูโลส

การเตรียมเบอร์เกอร์เนื้อเทียมทำโดยนำหัวปลีปั่นละเอียดมาผสมกับผงถั่วลันเตาตามอัตราส่วนที่กำหนด เติมผงปรุงแต่งกลิ่นรสลงไป จากนั้นเตรียมอิมัลชันของเมทิลเซลลูโลสและน้ำมันถั่วเหลืองโดยนำเมทิลเซลลูโลสมาปั่นผสมกับน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำเย็น (อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้อิมัลชันมีความ

คงตัว ไม่แยกชั้น) ในเครื่องปั่นผสมอาหาร (Severin, Germany) นานเป็นเวลา 3 นาที จะได้อิมัลชันที่มีลักษณะเป็นครีมข้นหนืด สีขาวขุ่น นำอิมัลชันที่ได้ไปรวมกับส่วนผสมในส่วนแรกที่เตรียมไว้ในชามสแตนเลสจนเป็นเนื้อเดียวกัน ใช้เวลาผสมประมาณ 1-2 นาที จากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ด้วยพิมพ์ทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 เซนติเมตร ความสูง 2 เซนติเมตร นำไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ยังคงแข็งตัวมาให้ความร้อนโดยย่างบนกระทะเทฟล่อนทรงตื้นขนาด 18 นิ้ว ตรา Tefal ย่างด้านละ 2 นาทีครึ่ง นำตัวอย่างหลังปรุงสุกไปวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบในการเตรียมเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา แสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบ	อัตราส่วนหัวปลี : โปรตีนถั่วลันเตา			
	65:35	70:30	75:25	80:20
หัวปลี	42.25	45.50	48.75	52.00
โปรตีนถั่วลันเตา	22.75	19.50	16.25	13.00
เมทิลเซลลูโลส	3.08	3.08	3.08	3.08
น้ำมันถั่วเหลือง	3.85	3.85	3.85	3.85
น้ำ	23.07	23.07	23.07	23.07
ผงปรุงแต่งกลิ่นรส	5.00	5.00	5.00	5.00

4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา

นำตัวอย่างเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่ผ่านการปรุงสุกในข้อ 4.2 มาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

4.3.1 คุณภาพทางกายภาพ เป็นการวิเคราะห์ค่าสีและเนื้อสัมผัส

4.3.1.1 วัดค่าสี (L*, a*, b*) ภายใน (internal color) ของตัวอย่างเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ด้วยเครื่องวัดค่าสี Spectrophotometer (HunterLab, UltraScan Pro, USA.) ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 และ 10° observer

4.3.1.2 วิเคราะห์เนื้อสัมผัส ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (TA-XT plus, Stable Micro System, U.K.) โดยวัดค่าแรงตัด (cutting force) ใช้หัววัดแบบ Standard blade set (HDP/BS) และวิเคราะห์โพรไฟล์เนื้อสัมผัสด้วยวิธี Texture profile analysis: TPA) โดยใช้หัววัดชนิดทรงกระบอก (Cylindrical probe, SMS P/100) วัดค่าโดยใช้เนื้อเทียมทั้งชิ้น และรายงานค่าเป็นความแข็ง (hardness), ความยืดหยุ่น (springiness), การเกาะตัวกัน (cohesiveness), ความเหนียวหนึบ (gumminess) และความยากในการเคี้ยว (chewiness)

4.3.2 คุณภาพทางเคมี เป็นการวิเคราะห์หาปริมาณสารหลัก (Proximate analysis) ดังนี้

4.3.2.1 ปริมาณความชื้น (Moisture Content) วิเคราะห์โดยวิธี Oven drying

4.3.2.2 ค่า water activity วิเคราะห์ด้วยเครื่อง LabMaster-aw (Novasina, Switzerland)

4.3.2.3 ปริมาณโปรตีน (Crude Protein) วิเคราะห์โดยใช้วิธี In-house method TE-CH-042 (AOAC method 981.10., 2019)

4.3.2.4 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) วิเคราะห์โดยใช้วิธี In-house method TE-CH-169 based on Method of Analysis for Nutrition Labelling

4.3.2.5 ปริมาณไขมัน (Crude Fat) วิเคราะห์โดยใช้วิธี acid hydrolysis (AOAC method 922.06, 2019)

4.3.2.6 ปริมาณเถ้า (Ash) วิเคราะห์โดยใช้วิธี In-house method TE-CH-041 (AOAC method 920.153, 2019)

4.3.2.7 ปริมาณเส้นใย (Crude Fiber) วิเคราะห์โดยใช้วิธี In-house method TE-CH-042 (AOAC method 978.10., 2019)

4.3.2.8 ปริมาณแคลอรี่จากไขมัน (Calories from Fat) และปริมาณแคลอรี่รวม (Calories) โดยใช้วิธี In-house method TE-CH-169 based on Method of Analysis for Nutrition Labelling (1993) P.106.)

4.3.3 คุณภาพทางประสาทสัมผัส เป็นการวิเคราะห์ความชอบโดยรวมของผู้บริโภคและความพอดีของลักษณะทางประสามสัมผัส

ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำตัวอย่างเนื้อเทียมไปเตรียมเป็นเบอร์เกอร์แล้วนำไปทดสอบกับผู้บริโภคจำนวน 50 คน เสิร์ฟตัวอย่างตามลำดับแบบสุ่ม โดยให้ผู้บริโภคประเมินความชอบต่อลักษณะปรากฏโดยรวม กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ โดยใช้ 9-point hedonic scale (Meilgaard et al., 1999) และประเมินความพอดีของกลิ่นรสถั่ว รสหวาน รสเค็ม ความเผ็ด ความนุ่ม ความชุ่มน้ำ และการเกาะตัวกันของเนื้อสัมผัส โดยใช้ 5-point just about right (JAR) (Rothman and Parker, 2009)

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows (Version 12, IBM, USA.)

สำหรับข้อมูลที่ได้จาก JAR scale ประมวลผลโดยนับความถี่ และคำนวณร้อยละความถี่ของผู้บริโภคที่ตอบว่าลักษณะทางประสาทสัมผัสมีความเข้มในระดับน้อยเกินไป (Too low), พอดี (Just about right: JAR) และมากเกินไป (Too high) หาก %JAR มีค่า $\geq$ 70 สามารถสรุปได้ว่าความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัสอยู่ในระดับที่พอดีแล้ว ไม่ต้องปรับปรุง แต่หาก %JAR < 70 แสดงว่ายังไม่พอดี ให้คำนวณค่า Net score จากร้อยละของผู้ทดสอบที่ตอบว่ามากเกินไป ลบด้วยร้อยละของผู้ทดสอบที่ตอบว่าน้อยเกินไป หาก Net score มีค่าอยู่ระหว่าง -20 ถึง 20 แสดงว่าไม่ต้องปรับปรุง ค่าน้อยกว่า -20 หมายถึงควรเพิ่มความเข้ม และค่ามากกว่า +20 หมายถึงควรลดความเข้มของลักษณะทางประสาทสัมผัส (Rothman and Parker, 2009)

5. ผลการวิจัย

อัตราส่วนของหัวปลีและถั่วลันเตามีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเบอร์เกอร์ ดังนี้

5.1 ผลต่อคุณภาพทางกายภาพ

ผลการวิเคราะห์ค่าสี แรงตัดขาด และค่าเนื้อสัมผัสซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี TPA ของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา ที่อัตราส่วน 65:35, 70:30, 75:25 และ 80:20 (w/w) แสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

5.2 ผลต่อคุณภาพทางเคมี

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา ที่อัตราส่วน 65:35, 70:30, 75:25 และ 80:20 (w/w) แสดงดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่าสีภายใน (Internal color) ของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่อัตราส่วนต่างๆ

หัวปลี:โปรตีนถั่วลันเตา	ค่าความสว่าง (L*)	ค่าความเป็นสีแดง (a*)	ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)
65:35	44.20±0.28^{c}	2.12±0.18^{b}	6.44±0.48^{c}
70:30	46.96±0.55^{a}	2.46±0.22^{a}	7.96±0.55^{a}
75:25	45.21±0.72^{b}	2.68±0.32^{a}	7.54±0.36^{ab}
80:20	45.83±0.40^{b}	2.46±0.27^{a}	7.17±0.52^{b}

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ซึ่งกำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p \leq 0.05$)*

ตารางที่ 3 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่อัตราส่วนต่างๆ

หัวปลี: โปรตีน ถั่วลันเตา	แรงตัดขาด (N)	ความแข็ง (N)	ความยืดหยุ่น	การเกาะตัวกัน	ความเหนียวหนึบ (N/cm^2)	ความยากในการเคี้ยว (N/cm)
65:35	31.09±3.02^{a}	38.91±2.97^{c}	0.72±0.03^{a}	0.46±0.05^{a}	2.33±0.71^{a}	12.36±0.75^{c}
70:30	28.91±2.90^{b}	40.85±3.34^{b}	0.69±0.05^{ab}	0.37±0.02^{b}	1.68±0.45^{b}	12.36±0.75^{c}
75:25	27.84±1.08^{bc}	45.75±2.44^{a}	0.56±0.06^{c}	0.37±0.04^{b}	2.00±0.46^{ab}	17.69±1.39^{a}
80:20	27.36±0.93^{c}	47.31±1.41^{a}	0.67±0.06^{b}	0.37±0.04^{b}	1.96±0.64^{a}	17.69±1.39^{a}

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ซึ่งกำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p \leq 0.05$)*

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอคทีวิตี้ของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่อัตราส่วนต่างๆ

หัวปลี:โปรตีนถั่วลันเตา	ความชื้น	วอเตอร์แอคทีวิตี้ (aw)^{ns}
65:35	37.38±0.72^{c}	0.91±0.01
70:30	31.77±0.37^{d}	0.90±0.01
75:25	40.18±0.57^{b}	0.90±0.002
80:20	42.40±0.20^{a}	0.91±0.004

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ซึ่งกำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p \leq 0.05$)*

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p>0.05$)*

ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่อัตราส่วนต่างๆ

หัวปลี: โปรตีนถั่วลันเตา	ร้อยละ						(Kcal. /100 g.)	
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	ใยอาหาร	เถ้า	พลังงานจากไขมัน	พลังงานจากผลิตภัณฑ์โดยรวม
65:35	46.78	18.38	25.95	7.00	2.28	1.89	233.05	335.07
70:30	50.79	17.25	22.15	7.98	3.02	1.83	199.35	300.27
75:25	49.82	17.07	21.14	9.90	2.77	2.07	190.26	298.14
80:20	52.75	14.62	20.42	10.27	3.85	1.94	183.78	283.34

5.3 ผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการประเมินความชอบของผู้บริโภคและความพอดีของลักษณะทางประสาทสัมผัสด้านต่างๆ ของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา ที่อัตราส่วน 65:35, 70:30, 75:25 และ 80:20 (w/w) แสดงดังตารางที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ความชอบของผู้บริโภคต่อเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ซึ่งใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่อัตราส่วนต่างๆ

หัวปลี: โปรตีนถั่วลันเตา	คะแนนความชอบด้านต่างๆ				
	ลักษณะปรากฏ^{ns}	กลิ่นรส	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
65:35	6.4±1.2	6.3±1.1^{ab}	6.1±1.2^{bc}	6.3±1.1^{ab}	6.4±1.1^{bc}
70:30	6.4±1.4	6.0±1.4^{b}	6.0±1.2^{c}	6.1±1.3^{b}	6.2±1.3^{c}
75:25	6.6±1.3	6.5±1.4^{a}	6.7±1.4^{a}	6.7±1.4^{a}	6.9±1.3^{a}
80:20	6.5±1.2	6.4±1.1^{ab}	6.6±1.2^{ab}	6.2±1.6^{ab}	6.7±1.2^{ab}

$^{a-c}$ ค่าเฉลี่ยในแต่ละคอลัมน์ซึ่งกำกับด้วยอักษรต่างกัน แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p \leq 0.05$)*

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยในคอลัมน์เดียวกัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p>0.05$)*

ตารางที่ 7 ความพอดีของลักษณะทางประสาทสัมผัสของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาที่อัตราส่วนระดับต่างๆ

หัวปลี: โปรตีนถั่วลันเตา	ลักษณะ	น้อยไป (%)	พอดี (%)	มากไป (%)	Net score	ทิศทางการปรับปรุง
65:35	กลิ่นถั่ว	8	60	32	24	ลดความเข้ม
	รสหวาน	44	56	0	-44	เพิ่มความเข้ม
	รสเค็ม	38	62	0	-38	เพิ่มความเข้ม
	ความเผ็ด	28	66	6	-22	เพิ่มความเข้ม
	ความนุ่ม	10	59	31	21	ลดความเข้ม
	ความชุ่มน้ำ	56	34	10	-46	เพิ่มความเข้ม
	การเกาะตัวกัน	78	22	0	-78	เพิ่มความเข้ม

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หัวปลี:โปรตีนถั่วลันเตา	ลักษณะ	น้อยไป (%)	พอดี (%)	มากไป (%)	Net score	ทิศทางการปรับปรุง
70:30	กลิ่นถั่ว	8	62	30	22	ลดความเข้ม
	รสหวาน	34	64	2	-32	เพิ่มความเข้ม
	รสเค็ม	36	64	0	-36	เพิ่มความเข้ม
	ความเผ็ด	52	48	0	-52	เพิ่มความเข้ม
	ความนุ่ม	12	52	36	24	ลดความเข้ม
	ความชุ่มน้ำ	12	64	24	12	ไม่ปรับปรุง
	การเกาะตัวกัน	18	76	6	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
75:25	กลิ่นถั่ว	16	78	6	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
	รสหวาน	42	58	0	-42	เพิ่มความเข้ม
	รสเค็ม	34	66	0	-34	เพิ่มความเข้ม
	ความเผ็ด	38	56	6	-32	เพิ่มความเข้ม
	ความนุ่ม	8	92	0	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
	ความชุ่มน้ำ	16	78	6	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
	การเกาะตัวกัน	18	82	0	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
80:20	กลิ่นถั่ว	18	78	4	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
	รสหวาน	38	60	2	-36	เพิ่มความเข้ม
	รสเค็ม	36	62	2	-34	เพิ่มความเข้ม
	ความเผ็ด	36	64	0	-36	เพิ่มความเข้ม
	ความนุ่ม	24	54	22	-2	ไม่ปรับปรุง
	ความชุ่มน้ำ	4	72	24	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ
	การเกาะตัวกัน	10	80	10	ไม่คำนวณ	พอดีแล้วไม่ต้องปรับ

6. อภิปรายผล

ค่าสีภายในของเนื้อเทียมเบอร์เกอร์แสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีจาก 65 เป็น 70 ส่วน ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และสีเหลือง (b*) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีมากขึ้นอีกเป็น 75 และ 80 ส่วน ส่งผลให้ค่าความสว่าง (L*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) ลดลง ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง (a*) ไม่เปลี่ยนแปลง ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Sudibyo et al. (2021) ที่พบว่าหัวปลีจะมีสีเข้มขึ้นหลังจากได้รับความร้อน เนื่องจากหัวปลีมีสารแทนนินซึ่งทำให้หัวปลีมีสีคล้ำขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยาร่วมกับออกซิเจน นอกจากนี้สีที่เข้มขึ้นอาจเป็นเพราะปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ที่เกิดขึ้นระหว่างการย่าง (พรรณพร กะตะจิตต์, 2561)

สำหรับค่าเนื้อสัมผัส (ตารางที่ 3) จะเห็นว่า แรงที่ใช้ในการตัด (Cutting force) มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีและลดอัตราส่วนของโปรตีนถั่วลันเตา แสดงว่าเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ตัดขาดจากกันได้ง่ายขึ้น หรือเกาะตัวกันน้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับค่าการเกาะตัวกันซึ่งวัดด้วยวิธี TPA ที่มีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) ในขณะ

ที่ความแข็ง และความยากในการเคี้ยวมีค่าเพิ่มขึ้น ($p \leq 0.05$) ส่วนความยืดหยุ่น และความเหนียวหนึบมีค่าลดลง ($p \leq 0.05$) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีและลดอัตราส่วนของโปรตีนถั่วลันเตา ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนถั่วลันเตาช่วยในการดูดซับน้ำ และการเกาะตัวเป็นเนื้อเดียวกัน นอกจากนี้ผลการประเมินเนื้อสัมผัสแสดงให้เห็นว่าค่าแรงที่ใช้ในการตัด (Cutting force) กับค่าความแข็งที่วัดด้วยวิธี TPA ให้ผลที่ไม่สอดคล้องกัน เนื่องจากหัววัดที่ใช้ต่างกันและแรงที่กระทำต่อตัวอย่างแตกต่างกัน ในการวัดแรงตัดขาดใช้หัววัดแบบใบมีด โดยประเมินแรงที่ใช้ในการตัดตัวอย่างให้ขาดออกจากกัน ซึ่งเป็นแรงที่หัววัดกระทำต่อตัวอย่างในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด ส่งผลให้ตัวอย่างเกิดแรงต้านต่อแรงที่มากระทำเพื่อรักษารูปร่างให้คงเดิม ในขณะที่ TPA เป็นการใช้หัววัดที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่าขนาดของตัวอย่าง โดยให้หัววัดกดลงบนตัวอย่าง 1 ครั้ง จากนั้นยกหัววัดขึ้น แล้วกดลงอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเลียนแบบการเคี้ยวภายในปาก เนื้อสัมผัสของตัวอย่างถือเป็นตัวบ่งชี้ถึงลักษณะของส่วนประกอบและโครงสร้างภายในอาหาร ที่แสดงผลออกมาในรูปแบบการสูญเสียรูปทรงจากแรงกลจากการบด หรือการกดทับจากเครื่องมือ ดังนั้นค่าความแข็งอาจแสดงผลในทิศทางตรงกันข้ามได้จากสภาวะการกระทำของแรงที่แตกต่างกัน (ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ, 2550)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลี ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Wickramarachchi et al. (2005) เนื่องจากหัวปลีมีลักษณะเป็นเส้นใยหยาบทำให้ดูดซับน้ำได้ดี อย่างไรก็ตามทุกตัวอย่างมีค่าวอเตอร์แอคทีวิตี้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$)

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 5) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของหัวปลีและลดอัตราส่วนของโปรตีนถั่วลันเตา ทำให้เนื้อเทียมเบอร์เกอร์ที่ได้มีปริมาณความชื้น คาร์โบไฮเดรต ใยอาหารและเถ้าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณโปรตีน ไขมัน พลังงานจากไขมันและพลังงานรวมมีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Ramu et al. (2017) ที่ว่าหัวปลีเป็นพืชที่อุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร สารกลุ่มพอลิฟีนอล และสารประกอบฟลาโวนอยด์ และยังมีคุณสมบัติทางโภชนาการที่ประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน รวมไปถึงกรดไขมันไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิกที่มีมากกว่า 60% ของกรดไขมันทั้งหมด ในขณะที่โปรตีนจากถั่วลันเตาอุดมไปด้วยแป้ง เส้นใยอาหาร และโปรตีน โดยมีโปรตีนสูงถึง 20-25% จึงนิยมนำมาใช้เป็นแหล่งโปรตีนจากพืช นอกจากนี้ยังมีราคาถูก ดังนั้นการใช้หัวปลีร่วมกับโปรตีนถั่วลันเตาจึงเป็นช่วยเพิ่มปริมาณโปรตีน ใยอาหาร ลดปริมาณไขมันและพลังงานจากอาหาร (Lu et al., 2020) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเบอร์เกอร์ที่ดีต่อสุขภาพของผู้บริโภค

ผลการประเมินทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างเนื้อเทียมเบอร์เกอร์จากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา พบว่า อัตราส่วนของหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาไม่ส่งผลต่อคะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่มีผลต่อความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 6 จะเห็นว่าคะแนนความชอบด้านกลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของตัวอย่างเนื้อเทียมเบอร์เกอร์ที่ใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาในอัตราส่วน 75:25 มีค่าสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความพอดีของลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ (ตารางที่ 7) จะเห็นว่าตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวอย่างที่ผู้บริโภคคิดว่ามีความเข้มของกลิ่นถั่ว ความนุ่ม ความชุ่มน้ำและการเกาะตัวกันในระดับที่พอดีมากกว่าตัวอย่างอื่นๆ อย่างไรก็ตามยังต้องปรับปรุงรสชาติโดยเพิ่มรสหวาน รสเค็ม และความเผ็ด

ผลการศึกษาสรุปได้ว่าสามารถใช้หัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาเป็นแหล่งโปรตีนจากพืชทดแทนเนื้อสัตว์ในผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมเบอร์เกอร์ได้ โดยอัตราส่วนหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตา 75:25 ได้รับการยอมรับมากที่สุด

ส่วนด้านกระบวนการผลิตทำได้โดยผสมส่วนผสมและขึ้นรูปในพิมพ์ จากนั้นนำไปแช่แข็ง และเมื่อจะรับประทานจึงนำมาให้ความร้อนโดยการย่าง

7. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาสูตรผลิตภัณฑ์เนื้อเทียมจากหัวปลีและโปรตีนถั่วลันเตาอาจทำได้โดยการใช้สารปรุงแต่งกลิ่นรส เช่น กลิ่นรสเนื้อหรือหมู หรือใช้ผงปรุงรสต่างๆ เช่น รสกระเทียมพริกไทย รสบาร์บีคิว และรสสไปซี่

8. เอกสารอ้างอิง

ขจีรัตน์ ระรื่นรมย์, สุนันทา ทองทา, และจิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล. (2543). ลักษณะทางโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของเนื้อเทียมจากโปรตีนถั่วเหลือง. *การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ครั้งที่ 6 ประจำปี 2543,* ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

จีระศักดิ์ คำสุริย์, เมธาวี ชุณหวุฒิยานนท์ และดุจเดือน บุญสม. (2562). *โครงการศึกษาตลาดอาหารวีแกน (Vegan) เพื่อรองรับการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารไทย* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 สิงหาคม 2565, จาก: http://fic.nfi.or.th/knowlegdedatabank-detail.php?id=1995.

ช่อลัดดา เที่ยงพุก. (2565). หัวปลี คุ้มค่าเกินราคา. *วารสารวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร*, 52(1), 48-57.

เดือนฉาย ตันนารัตน์, อัจฉรียา นพวิญญูวงศ์ และ ธนิตา ธนะกมลประดิษฐ์. (2565). ผลของชนิดโปรตีนพืชต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เนื้อจากพืช. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม,* 17(1).

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ. (2550). การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. *วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 3(1), 6-13.

นลิศา เตชะศิริประภา. (2564). *Plant-based มาแรง! เนสท์เล่ ส่ง "Harvest Gourmet" บุกตลาดไทย เตรียมเห็นเมนูบนเชนร้านอาหารรายใหญ่ มี.ค. นี้* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 22 กันยายน 2565, จาก https://marketeeronline.co/archives/210350.

พรรณพร กะตะจิตต์. (2561). *เคมีอธิบายอาหารไหม้มีสีดำ* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2565, จาก https://www.scimath.org/article-chemistry/item/8474-2018-07-18-04-06-45.

รุ่งนภา อ่อนชู และ ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ (2563). การทดแทนเนื้อหมูบางส่วนด้วยหัวปลีในผลิตภัณฑ์กุนเชียง. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำปี 2563*, ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สำนักวิจัยและพัฒนาการอาชีวศึกษา. (2564). *ปลีนักเก็ต* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2565, จาก https://nia3portal.emworkgroup.co.th/innovation/portfolio/reportpdf/1418/8d3c6275b1f62eaf9e8617ae723c258a.

Anonymous. (2019). *Texture analysis application note: Cooked Hamburger Patties TA52 Small Shear Blade* [Online]. Retrieve from: https://www.brookfieldengineering.com/

Benjamin, M. B., (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. Food Science and Human Wellness, 8, 320–329.

Fatma, B., Cristina, M.R., Massimo C. (2021). Pea protein ingredients: A mainstream ingredient to (re)formulate innovative foods and beverages. Trends in Food Science & Technology, 110, 729-742.

Lu, Z., He, J., Zhang, Y., and Bing, D. (2020). Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60:15, 2593-2605.

Meilgaard, M., Civille, G.V. and Carr, B.T. (1999). *Sensory Evaluation Techniques.* 3rd Ed. CRC Press, Boca Raton, FL.

Ramu, R., Shirahatti, S., Anilakumar, R., Nayakavadi, S., Zameer, F., Dhananjaya, L. (2017). Assessment of nutritional quality and global antioxidant response of banana (Musa sp. CV. Nanjangud Rasa Bale) pseudostem and flower. *Pharmacognosy Research*, 9, S74–S83.

Rodrigues, A. S., Kubota, E. H., Da Silva, C. G., Dos Santos Alves, J., Hautrive, T. P., Rodrigues, G. S., and Campagnol, P. C. (2020). Banana inflorescences: A cheap raw material with great potential to be used as a natural antioxidant in meat products. *Meat Science*, *161*, 107-991.

Rothman, L. and Parkers, M. J. (2009). Just-About-Right (JAR) scales: Design, usage, benefits and risks. *ASTM international manual series; the American Society for Testing and Materials*. MNL 63.

Sudibyo, K., Dwi Wibawa Budianta, T., and Indarto Putat Suseno, T. (2021). Effect of The Proportion of Oyster Mushroom and Banana Blossom on the Physicochemical and Organoleptic Properties of Shredded Vegetable. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 8(7), 118-126.

Wickramarachchi, K., and Ranamukhaaeachchi, S. (2005). Preservative of Fiber-Rich Banana Blossom as Dehydrated Vegetable. *Journal Science Asia*, 31, 265-271.

ตัวแบบพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564 - 2566

FORECASTING MODELS FOR DIRECT PREMIUM OF PENSION LIFE INSURANCE IN THAILAND, YEAR 2021 - 2023

นิฉา แก้วหาวงษ์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: nicha@mathstat.sci.tu.ac.th
หนึ่งฤทัย รักไทย
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: nungjairt@gmail.com
ชนาภา บุญประคม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: chanapra191@gmail.com
สุทัตตา อนันตนนทก
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: farang6282@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบการพยากรณ์อนุกรมเวลา 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX ในการศึกษาใช้ข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2564 โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จากการศึกษาพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ คือตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX โดยตัวแบบที่ได้มีค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.1699% และมีค่า R-Squared มากที่สุดเท่ากับ 99.8379% โดยปัจจัยที่มีผลกระทบกับเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญคือผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญที่ขายผ่านตัวแทน และขายผ่านธนาคาร ค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ ปี พ.ศ.2564 - 2566 มีจำนวน 14,515,770.30 พันบาท 15,968,010.95 พันบาท และ 16,593,928.21 พันบาท ตามลำดับ โดยเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ ปี พ.ศ.2566 มีการเติบโตคิดเป็น 12.5039% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2564

คำสำคัญ: เบี้ยประกันภัยรับโดยตรง, ตัวแบบ SARIMA, ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX

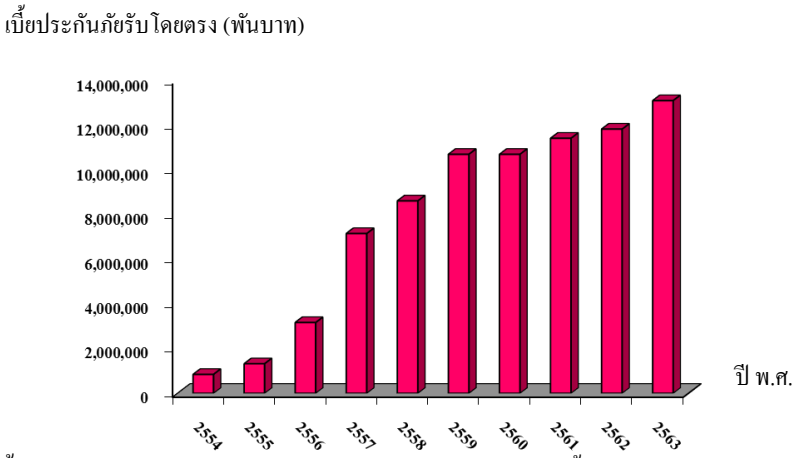
ABSTRACT

The objectives of this research were to study and compare two models of forecasting time series, namely Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average model (SARIMA model) and Decomposition with Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous variable model (Decomposition with SARIMAX model). In this research, we used monthly time series data of direct premium of pension life insurance in Thailand. The data was the monthly time series data from January 2011 to December 2021. The Mean Absolute Percentage Error and R-Squared were used as the comparative criteria. The results showed that Decomposition with SARIMAX model was the most suitable model for forecasting the data of direct premium of pension life insurance. The Decomposition with SARIMAX model had the lowest MAPE of 2.1699% and the highest R-Squared of 99.8379%. The factor that affects the direct premium of pension life insurance is GDP, the number of policies sold through agents and sold through banks. The predicted direct premium of pension life insurance in 2021-2023 were 14,515,770.30, 15,968,010.95 and 16,593,928.21 thousand baht, respectively. The direct premium of pension life insurance in 2023 was predicted to increase 12.5039% from 2021.

KEYWORDS: Direct premium, SARIMA model, Decomposition with SARIMAX model

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันโลกมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นมากมาย การตระหนักรู้ถึงความเสี่ยงต่างๆ เหล่านี้ทำให้ประชาชนให้ความสำคัญกับการทำประกันภัยมากยิ่งขึ้น อีกทั้งความเสี่ยงที่จะมองข้ามไม่ได้เลยคือความเสี่ยงทางการเงินสำหรับวัยเกษียณ เนื่องจากปัจจุบันมนุษย์มีอายุเฉลี่ยเพิ่มขึ้น การมีอายุหลังวัยเกษียณที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้ประชาชนต้องวางแผนการเงินสำหรับใช้ในวัยเกษียณมากขึ้นเช่นเดียวกัน อีกทั้งมีการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรน่าอาจทำให้การวางแผนทางการเงินของประชาชนต้องหยุดชะงัก การทำประกันชีวิตแบบบำนาญจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการกระจายความเสี่ยงในอนาคต ซึ่งการประกันชีวิตแบบบำนาญเป็นการประกันชีวิตที่เน้นการออมเงินคล้ายประกันชีวิตแบบสะสมทรัพย์ โดยผู้เอาประกันต้องชำระเงินค่าเบี้ยประกันเป็นระยะเวลาตามที่ระบุไว้ในกรมธรรม์ แต่รูปแบบการคืนเงินจะไม่มีการคืนเงินระหว่างทาง และนอกเหนือจากเงินบำนาญที่จะได้รับหลังเกษียณอายุแล้ว ยังสามารถนำค่าเบี้ยประกันไปลดหย่อนภาษีได้ตามที่กฎหมายกำหนดอีกด้วย



ภาพที่ 1 เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ.2563

จากภาพที่ 1 จะเห็นว่ากราฟแสดงเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ.2563 มีแนวโน้มการเติบโตสูงขึ้น แม้ในช่วงการแพร่ระบาดของ COVID-19 ตั้งแต่ปี พ.ศ.2562 ถึง พ.ศ.2563 เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญก็มีแนวโน้มเติบโตขึ้น ในขณะที่เศรษฐกิจไทยกำลังอยู่ในช่วงขาลง โดยเฉพาะในปี พ.ศ.2563 ซึ่งมีเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงมากถึง 13,084,970 พันบาท ในขณะที่ปี พ.ศ.2554 มีเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงเพียง 845,226 พันบาท โดยเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงมีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 54.81 ต่อปี ทางคณะผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ เพื่อพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงในอนาคตสำหรับใช้เป็นแนวทางในการประมาณการรายได้ของบริษัทที่ประกอบธุรกิจประกันชีวิต เนื่องจากเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงถือเป็นรายได้ส่วนใหญ่ของบริษัทและบริษัทสามารถนำมาใช้ในการวางแผนดำเนินธุรกิจได้ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ประกันชีวิตแบบบำนาญในอนาคตอีกด้วย

การคาดการณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของธุรกิจประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทยจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ หากนำเทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลามาช่วยพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของธุรกิจประกันชีวิตรายเดือนในประเทศไทยได้ก็จะทำให้ทราบแนวโน้มในอนาคต และทราบได้ว่าช่วงเวลาใดธุรกิจประกันชีวิตแบบบำนาญจะเติบโต โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยของประกันชีวิต เช่น งานวิจัยของวิวัฒน์ (2554) ได้ศึกษาปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีอิทธิพลต่อเบี้ยประกันชีวิตรวมประเภทสามัญ โดยใช้ตัวแปรอิสระ 4 ตัวคือดัชนีราคาผู้บริโภค, ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ, ดัชนีราคาตลาดหลักทรัพย์ และอัตราผลตอบแทนพันธบัตรรัฐบาล 5 ปี ส่วนตัวแปรตาม คือ จำนวนเงินเบี้ยประกันชีวิตรวมประเภทสามัญ ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศมีความสัมพันธ์กับจำนวนเงินเบี้ยประกันชีวิตรวมประเภทสามัญมากที่สุด ต่อมาเป็นงานวิจัยของ Bortner และคณะ (2013) ได้ศึกษาตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงใน 18 รัฐของประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้วิธีพยากรณ์ 3 วิธีคือ 1) วิธีการวิเคราะห์ถดถอยแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ 2) วิธีการเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล และ 3) ตัวแบบ ARIMA ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบ ARIMA เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ส่วน Ulyah และคณะ (2019) ได้ศึกษาการพยากรณ์เงินสำรองค่าสินไหมทดแทนรายเดือนในประเทศอินโดนีเซียโดยใช้ตัวแบบ SARIMAX และตัวแบบการถดถอยแบบไม่ใช้พารามิเตอร์ ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบ SARIMAX เป็นตัวแบบที่มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากที่สุด เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 4.025% โดยตัวแบบ SARIMAX เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้ม และมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วน Namawejje และ Geofrey (2020) ได้ศึกษาตัวแบบพยากรณ์เบี้ยประกันภัยของธุรกิจประกันชีวิตในประเทศยูกันดา ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบที่เหมาะสมคือ ARIMA(0,1,0) ลำดับต่อมาเป็นงานวิจัยของ Nontapa และคณะ (2020) ได้นำเสนอวิธีใหม่ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาคือตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX โดยข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นข้อมูลที่มีแนวโน้ม และมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง จำนวน 4 ชุด คือปริมาณการใช้ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในประเทศไทย จำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติที่มาท่องเที่ยวในประเทศไทย อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินดอลลาร์สหรัฐต่อเงินบาท และดัชนีราคาหุ้นของไทยโดยเปรียบเทียบ 4 ตัวแบบคือ 1) ตัวแบบ SARIMA 2) ตัวแบบ SARIMAX 3) ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMA และ 4) ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด และงานวิจัยของ Ahmed Hafiz และคณะ (2021) ได้ศึกษาการคาดการณ์อัตราการเข้าถึงประกันชีวิตในประเทศไนจีเรีย โดยมีการนำตัวแบบ ARIMA มาใช้ในการพยากรณ์อัตราการเข้าถึงประกันชีวิต เนื่องจากตัวแบบ ARIMA มีความแม่นยำในการพยากรณ์มากถึง 89.65%

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่พยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทย โดยข้อมูลมีแนวโน้ม และมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นจะทำการศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบ 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA ซึ่งเป็นวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและมีฤดูกาล โดยมีการหาผลต่างเพื่อปรับข้อมูล Nonstationary ให้เป็น Stationary และตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เป็นวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่มีแนวโน้มและมีฤดูกาล โดยจะมีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา Y ออกเป็นส่วนประกอบของแนวโน้ม-วัฏจักร-เหตุการณ์ผิดปกติ (TCI) และส่วนประกอบของความแปรผันเนื่องจากฤดูกาล (S) จากนั้นนำ TCI ไปประมาณค่าด้วยตัวแบบ SARIMAX และนำค่าประมาณที่ได้ไปคูณกับดัชนีฤดูกาลจะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ของอนุกรมเวลา Y ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์อนุกรมเวลา 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX

(2) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญในประเทศไทย

(3) เพื่อวิเคราะห์และคัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทยตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2566

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลทุติยภูมิของเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญและตัวแปรที่เกี่ยวข้องตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2564 จำนวน 132 เดือน โดยรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ของสำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจประกันภัย (คปภ.) โดยมีตัวแปรดังนี้

ตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ

Y_t แทน จำนวนเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทย ณ เดือนที่ t (พันบาท)

ตัวแปรภายนอก (Exogenous Variables) มีจำนวน 9 ตัว คือ

$X_{1,t}$ แทน จำนวนเงินเอาประกันชีวิตแบบบำนาญ ณ เดือนที่ t (พันบาท)

$X_{2,t}$ แทน จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญ ณ เดือนที่ t (กรมธรรม์)

$X_{3,t}$ แทน ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ ณ เดือนที่ t (พันล้านบาท)

$X_{4,t}$ แทน จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญที่ขายผ่านตัวแทน ณ เดือนที่ t (กรมธรรม์)

$X_{5,t}$ แทน จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญที่ขายผ่านนายหน้า ณ เดือนที่ t (กรมธรรม์)

$X_{6,t}$ แทน จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญที่ขายผ่านธนาคาร ณ เดือนที่ t (กรมธรรม์)

$X_{7,t}$ แทน จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญที่ขายผ่านโทรศัพท์ ณ เดือนที่ t (กรมธรรม์)

$X_{8,t}$ แทน ค่าใช้จ่ายในการโฆษณาของบริษัทประกันชีวิต ณ เดือนที่ t (พันบาท)

$X_{9,t}$ แทน ค่าใช้จ่ายส่งเสริมการขายของบริษัทประกันชีวิต ณ เดือนที่ t (พันบาท)

3.2 วิธีการทางสถิติที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 ตัวแบบ SARIMA

ตัวแบบ SARIMA มีชื่อเต็มคือ Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average model เป็นวิธีการพยากรณ์อนุกรมเวลาซึ่งเลือกตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์โดยพิจารณจากฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยของข้อมูลอนุกรมเวลาที่พิจารณา โดยมีการหาผลต่างเพื่อปรับข้อมูลที่ไม่เป็นสเตชันนารี (Nonstationary) ให้เป็นสเตชันนารี (Stationary) โดยการหาผลต่างอันดับที่ d และ D ซึ่งอันดับที่ D เป็นผลต่างแบบมีฤดูกาลที่นำมาคิดร่วมด้วย เพื่อปรับผลกระทบของฤดูกาลให้สเตชันนารี Box และ Jenkins ในปี ค.ศ.1976 ได้นำเสนอเทอมของ $B^S Y_t = Y_{t-S}$ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาที่มีฤดูกาลและปรากฏความไม่เป็นสเตชันนารี (Nonstationary) ในอนุกรมเวลา $Y_t, Y_{t-S}, Y_{t-2S}, \ldots$ ซึ่งจะต้องใช้ตัวดำเนินการ $\left(1-B^S\right)^D$ มาวิเคราะห์ร่วมด้วย โดยตัวแบบ SARIMA(p,d,q)(P,D,Q) มีสมการดังนี้

$$\left(1-\phi_1 B-\phi_2 B^2-\ldots-\phi_p B^p\right)\left(1-\Phi_1 B^S-\Phi_2 B^{2S}-\ldots-\Phi_P B^{PS}\right)(1-B)^d\left(1-B^S\right)^D Y_t$$
$$=\left(1-\theta_1 B-\theta_2 B^2-\ldots-\theta_q B^q\right)\left(1-\Theta_1 B^S-\Theta_2 B^{2S}-\ldots-\Theta_Q B^{QS}\right)\varepsilon_t \qquad (1)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error) ณ เวลาที่ t

$\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวเองแบบไม่มีฤดูกาล

$\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบไม่มีฤดูกาล

$\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_P$ คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในตัวเองแบบมีฤดูกาล

$\Theta_1, \Theta_2, \ldots, \Theta_Q$ คือ พารามิเตอร์แสดงค่าสัมประสิทธิ์การเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบมีฤดูกาล

3.2.2 ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX

ในปี ค.ศ.2020 Nontapa และคณะได้นำเสนอตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX ซึ่งเป็นวิธีพยากรณ์อนุกรมเวลาที่มีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลาออกเป็น TCI และ S จากนั้นนำ TCI ไปประมาณค่าด้วยตัวแบบ SARIMAX และนำค่าประมาณที่ได้ไปคูณกับดัชนีฤดูกาลจะทำให้ได้ค่าพยากรณ์ของอนุกรมเวลา Y_t ในอนาคต ซึ่งตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX มีสมการดังนี้

$$Y_t = (\mathrm{T}\times \mathrm{C}\times \mathrm{I})_{t,SARIMAX} \times S_t + \varepsilon_t \qquad (2)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t

$(\mathrm{T}\times \mathrm{C}\times \mathrm{I})_{t,SARIMAX}$ คือ ส่วนประกอบของแนวโน้ม-วัฏจักร-เหตุการณ์ผิดปกติ ณ เวลาที่ t

S_t คือ ส่วนประกอบของความแปรผันเนื่องจากฤดูกาล ณ เวลาที่ t

ε_t คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Error) ณ เวลาที่ t

3.2.3 ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Mean Absolute Percentage Error) เป็นค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์อนุกรมเวลา โดยตัวแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะถูกนำไปใช้ในการพยากรณ์จะต้องมีค่า MAPE ต่ำที่สุด โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$MAPE(\%) = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{Y_t-\hat{Y}_t}{Y_t}\right|\times 100 \qquad (3)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t, $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t, n คือ จำนวนข้อมูลตัวอย่าง

3.2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

เป็นค่าสถิติที่ใช้วัดประสิทธิภาพของสมการพยากรณ์โดยค่า R-Squared มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และไม่มีหน่วย นิยมวัดในรูปเปอร์เซ็นต์ ถ้า R-Squared มีค่าใกล้ 100% แสดงว่าสมการพยากรณ์ที่ได้มีประสิทธิภาพสูง ถ้า R-Squared มีค่าใกล้ 0% แสดงว่าสมการพยากรณ์ที่ได้มีประสิทธิภาพต่ำ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$R-Squared(\%) = \left(1-\frac{\sum_{t=1}^{n}(Y_t-\hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1}^{n}(Y_t-\bar{Y})^2}\right)\times 100 \qquad (4)$$

โดยที่ Y_t คือ ข้อมูล ณ เวลาที่ t, $\hat{Y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลาที่ t, $\bar{Y}$ คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคำนวณค่าพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2554 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2563 จำนวน 120 เดือน คิดเป็นร้อยละ 90 ของจำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละตัวแบบพยากรณ์

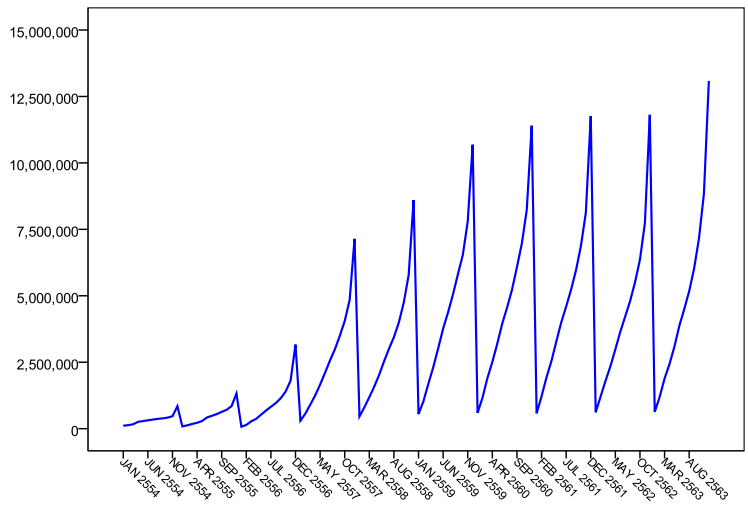
<u>ส่วนที่ 2</u> ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ.2564 จำนวน 12 เดือน คิดเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนข้อมูลตัวอย่างทั้งหมด เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ล่วงหน้าที่ได้ในแต่ละตัวแบบ ซึ่งเป็นการทดสอบตัวแบบว่ามีความแม่นยำเพียงใด และจะเลือกตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่า MAPE น้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics Version 22 ได้ผลการวิจัยดังนี้

4.1 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMA

ในเบื้องต้นได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทยโดยเขียนกราฟเทียบกับเวลา ตั้งแต่มกราคม พ.ศ.2554 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2563 แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญ ตั้งแต่มกราคม พ.ศ.2554 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2563

จากภาพที่ 2 พบว่า เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญไม่ Stationary โดยมีแนวโน้มและมีฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้องโดยอนุกรมเวลาดังกล่าวมีความแปรปรวนไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องแปลงข้อมูลด้วย Natural Logarithms (แทนด้วย ln Y) เพื่อทำให้ข้อมูลมีความแปรปรวนคงที่ และทดสอบความนิ่งของข้อมูลโดยใช้ ADF test พบว่ามีค่า t = -1.099 และมี p-value = 0.920 สรุปได้ว่าข้อมูลไม่มีความนิ่งจึงหาผลต่างอันดับที่ 1 แบบ Nonseasonal (d=1) และผลต่างอันดับที่ 1 แบบ Seasonal (D=1) เพื่อทำให้อนุกรมเวลามีค่าเฉลี่ยคงที่อยู่ในระดับเดียวกันและนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองและฟังก์ชันสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อยเพื่อใช้กำหนดอันดับที่ p, q, P และ Q ในตัวแบบ SARIMA พบว่าอนุกรมเวลา ln Y ที่มีการหาผลต่าง d=1 และ D=1 มีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ Lag ที่ 9 และ Lag ที่ 12 ตามลำดับและมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย ณ Lag ที่ 12 โดยตัวแบบ SARIMA ที่เหมาะสมที่สุดคือ SARIMA(0,1,(9))(1,1,0) มีสมการตัวแบบคือ

$$(1-\Phi_1 \mathrm{B}^{12})(1-\mathrm{B})(1-\mathrm{B}^{12})Y_t' = (1-\theta_9 \mathrm{B}^9)\varepsilon_t \tag{5}$$

$$Y_t' = Y_{t-1}' + Y_{t-12}' - Y_{t-13}' + \Phi_1 Y_{t-12}' - \Phi_1 Y_{t-13}' - \Phi_1 Y_{t-24}' + \Phi_1 Y_{t-25}' - \theta_9 \varepsilon_{t-9} + \varepsilon_t \tag{6}$$

โดยที่ $Y_t' = \ln Y_t$ และมีสมการพยากรณ์ คือ

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1}' + Y_{t-12}' - Y_{t-13}' + \hat{\Phi}_1 Y_{t-12}' - \hat{\Phi}_1 Y_{t-13}' - \hat{\Phi}_1 Y_{t-24}' + \hat{\Phi}_1 Y_{t-25}' - \hat{\theta}_9 e_{t-9} \tag{7}$$

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ในตัวแบบ SARIMA(0,1,(9))(1,1,0)

Process	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์	Standard Error	t	p-value
MA9	$\hat{\theta}_9$	-0.26643	0.09788	-2.722	0.00760
SAR1	$\hat{\Phi}_1$	-0.53821	0.07740	-6.954	0.00001

สมการพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMA มีค่า MAPE เท่ากับ 6.5641% โดยตัวแบบมีความเหมาะสมเมื่อทดสอบด้วยสถิติ Q ของ Box-Ljung (Q = 20.863, p-value = 0.892)

4.2 การพยากรณ์ด้วยตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เป็นวิธีผสมระหว่างตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับตัวแบบ SARIMAX ในเบื้องต้นจะนำส่วนประกอบแนวโน้ม-วัฏจักรและความผันแปรแบบผิดปกติ (TCI) ที่ได้จากการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา Y มากำหนดรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบแนวโน้ม-วัฏจักรและความผันแปรแบบผิดปกติ (TCI) และตัวแปรภายนอกโดยการเขียนแผนภาพการกระจายเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ พบว่ามี X_3, X_4 และ X_6 ที่มีความสัมพันธ์กับ TCI มากที่สุด โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นดังนี้ $r_{TCI,X_3} = 0.9353$, $r_{TCI,X_4} = 0.6856$ และ $r_{TCI,X_6} = 0.5667$ ตามลำดับโดยมีสมการถดถอย คือ $TCI_t = 271.65871X_{3,t} + 8.42731X_{4,t} - 5.09864X_{6,t}$ และพบว่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากสมการถดถอยมีสหสัมพันธ์ในตัวเอง ณ Lag ที่ 6, 12, 18, 24 และ 30 ตามลำดับ และมีสหสัมพันธ์ในตัวเองส่วนย่อย ณ Lag ที่ 6, 12 และ 18 ตามลำดับ ดังนั้นพบว่าตัวแบบ SARIMAX ของ TCI_t ที่เหมาะสมที่สุด คือ SARIMAX((11),1,1)(0,0,2) with X_3, X_4 และ X_6 โดยค่าสัมประสิทธิ์ในตัวแบบแสดงดังตารางที่ 2 และนำค่าพยากรณ์ของ TCI_t จากตัวแบบ SARIMAX ที่ได้ไปคูณกับค่าดัชนีฤดูกาล ($\hat{S}_t$) จะได้ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX กรณีไม่มีพจน์ค่าคงที่ โดยมีสมการพยากรณ์ คือ

$$\begin{aligned}\hat{Y}_t = (&\hat{\beta}_1 X_{3,t} + \hat{\beta}_2 X_{4,t} + \hat{\beta}_3 X_{6,t} + \hat{\phi}_{11}\hat{\omega}_{t-11} + \hat{\omega}_{t-11} - \hat{\phi}_{11}\hat{\omega}_{t-12} \\ &-\hat{\Theta}_1 e_{t-12} - \hat{\Theta}_2 e_{t-24} - \hat{\theta}_1 e_{t-1} + \hat{\theta}_1\hat{\Theta}_1 e_{t-13} + \hat{\theta}_1\hat{\Theta}_2 e_{t-25}).\hat{S}_t\end{aligned} \tag{8}$$

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ในตัวแบบ SARIMAX((11),1,1)(0,0,2) with X_3, X_4 และ X_6 ของ TCI

ตัวแปร	สัญลักษณ์	ค่าสัมประสิทธิ์	Standard Error	t	p-value
X_3	$\hat{\beta}_1$	271.65871	103.64697	2.621	0.00987
X_4	$\hat{\beta}_2$	8.42731	1.49103	5.652	0.00001
X_6	$\hat{\beta}_3$	-5.09864	2.17612	-2.343	0.02073
AR11	$\hat{\phi}_{11}$	-0.22983	0.09234	-2.489	0.01414
MA1	$\hat{\theta}_1$	-0.28789	0.08820	-3.264	0.00142
SMA1	$\hat{\Theta}_1$	-0.76815	0.09878	-7.776	0.00001
SMA2	$\hat{\Theta}_2$	-0.31623	0.10136	-3.120	0.00225

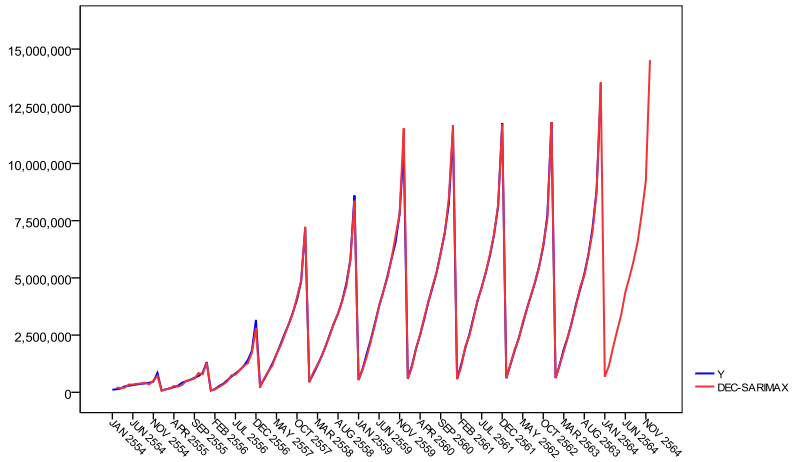
สมการพยากรณ์ด้วยตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX มีค่า MAPE เท่ากับ 5.2629% โดยตัวแบบมีความเหมาะสมเมื่อทดสอบด้วยสถิติ Q ของ Box-Ljung (Q = 16.427, p-value = 0.979)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่า MAPE และค่า R-Squared ของตัวแบบการพยากรณ์ทั้ง 2 ตัวแบบ

เกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	ตัวแบบ SARIMA	ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX
1. MAPE (%) (คิดจากข้อมูลที่ใช้สร้างตัวแบบ 120 เดือน)	6.5641	5.2629*
2. MAPE (%) (คิดจากข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 12 เดือน)	3.0925	2.1699*
3. R-Squared (%)	99.4177	99.8379**

<u>หมายเหตุ</u> * หมายถึง ตัวแบบที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด และ ** หมายถึง ตัวแบบที่ให้ค่า R-Squared มากที่สุด

จากตารางที่ 3 พบว่าตัวแบบการพยากรณ์ข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญที่เหมาะสมที่สุดคือ ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เนื่องจากให้ค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.1699% สำหรับข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 12 เดือน และมีค่า R-Squared มากที่สุดเท่ากับ 99.8379% และกราฟเปรียบเทียบค่าที่แท้จริงกับค่าพยากรณ์แสดงดังภาพที่ 3 และคำนวณค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญรายเดือนในประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึงธันวาคม พ.ศ.2566 แสดงดังตารางที่ 4



ภาพที่ 3 ค่าที่แท้จริงและค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญในประเทศไทยด้วยตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX

ตารางที่ 4 ค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญในประเทศไทย (พันบาท) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 ด้วยตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX

เดือน	ค่าที่แท้จริง (Y)	ค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญ		
	พ.ศ. 2564	พ.ศ. 2564	พ.ศ. 2565	พ.ศ. 2566
มกราคม	645,169	684,706.33	738,915.66	804,340.35
กุมภาพันธ์	1,213,428	1,155,804.20	1,367,430.71	1,476,438.69
มีนาคม	2,036,645	1,955,048.40	2,234,976.14	2,335,667.46
เมษายน	2,679,295	2,687,321.25	2,896,175.67	3,004,957.11
พฤษภาคม	3,474,279	3,389,582.14	3,748,763.65	3,871,261.92
มิถุนายน	4,383,527	4,372,341.94	4,684,324.04	4,805,007.26
กรกฎาคม	5,006,734	5,022,627.64	5,447,119.49	5,628,778.84
สิงหาคม	5,693,369	5,737,143.89	6,238,937.72	6,457,961.58
กันยายน	6,560,998	6,573,761.30	7,242,496.02	7,495,223.59
ตุลาคม	7,560,440	7,813,292.98	8,296,889.44	8,683,255.94
พฤศจิกายน	9,434,461	9,250,270.46	10,170,891.58	10,556,249.28
ธันวาคม	14,749,649	14,515,770.30	15,968,010.95	16,593,928.21

5. อภิปรายผล

จากภาพที่ 3 พบว่าค่าที่แท้จริงของข้อมูลเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญ (เส้นสีน้ำเงิน) กับค่าพยากรณ์ที่ได้จากตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX (เส้นสีแดง) มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างตัวแบบจำนวน 120 เดือน และข้อมูลที่ใช้ทดสอบจำนวน 12 เดือนมีค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 5.2629% และ 2.1699% ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3 การที่ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ความแม่นยำมากกว่าตัวแบบ SARIMA เนื่องจากในเบื้องต้นมีการแยกส่วนประกอบของอนุกรมเวลา Y ก่อน และนำค่าส่วนประกอบของ TCI ที่ได้ไปพยากรณ์ด้วยตัวแบบ SARIMAX โดยมีการนำปัจจัยภายนอกมาคิดร่วมด้วย แล้วจึงนำค่าพยากรณ์ของ TCI ด้วยตัวแบบ SARIMAX มาคูณกับดัชนีฤดูกาล ซึ่งตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX ให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ต่ำกว่าตัวแบบ SARIMA ซึ่งทำการพยากรณ์ด้วยอนุกรมเวลา Y เพียงอย่างเดียวและไม่มีการนำตัวแปรภายนอกมาคิดร่วมด้วย โดยผลการวิจัยที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nontapa และคณะ (2020) ที่ว่าตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลที่มีแนวโน้ม และมีฤดูกาล รวมทั้งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ulyah และคณะ (2019) ที่ว่าตัวแบบ SARIMAX เป็นตัวแบบที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดในการพยากรณ์ข้อมูลกรณีศึกษาด้านประกันภัย ดังนั้นจึงทำการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญในประเทศไทยโดยใช้ตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX ตั้งแต่มกราคม พ.ศ.2564 ถึงธันวาคม พ.ศ.2566 แสดงดังตารางที่ 4 พบว่าเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญมีแนวโน้มเติบโตขึ้นเรื่อยๆ โดยค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญจะมีค่ามากที่สุดในเดือนธันวาคม พ.ศ.2566 โดยมีค่าเท่ากับ 16,593,928.21 พันบาท

6. สรุปผลการวิจัย

การพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญโดยเปรียบเทียบตัวแบบ 2 ตัวแบบ คือ ตัวแบบ SARIMA และตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX โดยพิจารณาจากค่า MAPE ของข้อมูลที่ใช้ทดสอบ 12 เดือน สรุปได้ว่าตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX เป็นตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด เพราะมีค่า MAPE ต่ำที่สุดเท่ากับ 2.1699% โดยปัจจัยที่มีผลกับเบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของประกันชีวิตแบบบำนาญ คือผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ จำนวนกรมธรรม์ประกันชีวิตแบบบำนาญที่ขายผ่านตัวแทน และธนาคาร

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) สามารถนำค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญที่ได้มาประเมินและวิเคราะห์แนวโน้มในอนาคตของธุรกิจประกันชีวิตในประเทศไทยได้

(2) สามารถนำค่าพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญมาใช้ในการพัฒนาธุรกิจประกันชีวิตให้เติบโต เช่น การวางแผนออกผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ สำหรับการประกันชีวิตแบบบำนาญรวมทั้งการเพิ่มช่องทางการขายให้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น เช่น การขายกรมธรรม์ประกันชีวิตผ่านทางแอปพลิเคชัน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจทำการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของการประกันชีวิตแบบบำนาญแยกตามรายบริษัทที่ดำเนินธุรกิจประกันชีวิตในประเทศไทย

(2) ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจนำตัวแบบแยกส่วนประกอบร่วมกับ SARIMAX ไปใช้ในการพยากรณ์อนุกรมเวลาอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น การพยากรณ์ค่าสินไหมทดแทนของธุรกิจประกันชีวิตในประเทศไทย เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

วิวัฒน์ ศักดิ์พิชัยมงคล. (2554). *ปัจจัยทางเศรษฐกิจที่มีผลต่อจำนวนเงินเบี้ยประกันชีวิตรวมประเภทสามัญ*. (บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, ปทุมธานี.

สำนักงานคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการประกอบธุรกิจประกันภัย. (2565). *ข้อมูลสถิติธุรกิจประกันชีวิต*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 มกราคม 2565, จาก: https://www.oic.or.th/th/industry/statistic/data/

Bortner, D., Pulliam, C., & Yam, W. (2013). *Trend analysis for quarterly insurance time series*. (Unpublished master's thesis). University of California Santa Barbara, USA.

Hafiz, U. A., Salleh, F., Garba, M., & Rashid, N. (2021). Projecting insurance penetration rate in Nigeria: an ARIMA approach. *Geintec*, *11*(3), 63-75. ISSN: 2237-0722

Namawejje, H., & Geofrey, K. (2020). Forecasting life insurance premiums and insurance penetration rate n Uganda. *International Journal of Scientific and Research Publications*, *10*(5), 708-718.

Nontapa, C., Kesamoon, C., Kaewhawong, N., & Intrapaiboon, P. (2020). A New time series forecasting using decomposition method with SARIMAX model. *The 27th International Conference Neural Information Processing 2020 (ICONIP2020)*. 743-751.

Ulyah, S. M., Mardianto, M. F. F., & Sediono, I. S. (2019). Comparing the performance of seasonal ARIMAX model and nonparametric regression model in predicting claim reserve of education insurance. *Journal of Physics: Conference Series*, *1397*(1), 1-14.

การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุกันกระแทกและปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

STUDY ON BASIC PROPERTIES OF CUSHIONING MATERIAL AND COMPOST FROM WATER HYACINTH

ชยารัตน์ ศรีสุนนท์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: scchayarat@bsru.ac.th

สุธารีรัตน์ ธรรมไพศาล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: sutharirat.sai@gmail.com

สิทธิพร สว่างอารมณ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: sittiporn0453@gmail.com

ตีรณรรถ ศรีสุนนท์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

E-mail: treeranut@vru.ac.th

มาลี ลิขิตชัยกุล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: ipd_flower@hotmail.com

อรพิมพ์ มงคลเคหา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: orapim.mo@bsru.ac.th

นางสาวขนิษฐา หทัยสมิทธ์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: kanitta.ha@bsru.ac.th

สรายุทธ คาน

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

E-mail: sarayutkhan@gmail.com

บทคัดย่อ

การทำวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุกันกระแทกและปุ๋ยหมักจากผักตบชวา โดยทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวากันกระแทก ได้แก่ ความชื้น อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ ความต้านทานการตกกระทบ และทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความชื้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณความชื้นในผักตบชวากันกระแทก มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.15 การย่อยสลายทางชีวภาพได้ดีที่สุดโดยฝังดินและรดน้ำเป็นระยะเวลา 60 วัน ซึ่งมีอัตราการย่อยสลายร้อยละ 48.49 ผักตบชวาสามารถต้านทานการตกกระทบของไข่ไก่และแก้วน้ำใสได้ แต่ไข่ไก่จะเกิดความเสียหาย เมื่อตกจากที่สูง 6 เมตรขึ้นไป เมื่อเปรียบเทียบความต้านทานการตกกระทบกับวัสดุกันกระแทกอื่น ๆ ได้แก่ โฟมเม็ดและพลาสติกกันกระแทก พบว่า วัสดุกันกระแทกที่มีความสามารถกันกระแทกได้ดีที่สุด คือ ผักตบชวากันกระแทก รองลงมา คือ พลาสติกกันกระแทก และโฟมเม็ด ตามลำดับ ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ได้จากการทำวิจัยมีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 6.92 ปริมาณความชื้นร้อยละ 10.03 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 1.03 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดร้อยละ 0.28 และอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 30.65 ซึ่งใกล้เคียงกับเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร พ.ศ. 2557

คำสำคัญ: วัสดุกันกระแทก, ผักตบชวา, ปุ๋ยหมัก

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the basic properties of cushioning material and compost from water hyacinth (*Eichhornia crassipe*). The basic properties of cushioning material were determined for moisture, biodegradation rate, resistance, and the basic properties of compost from water hyacinth were determined for pH, moisture, total nitrogen, total phosphorus and the ratio between carbon and nitrogen. Results showed that moisture content in water hyacinth cushioning material was 3.15%. The best biodegradation was achieved by burial and watering for 60 days in which the degradation rate was 48.49%. Water hyacinth was resistant to the impact of chicken eggs and a clear glass of water. The eggs are damaged from falling at 6 m or higher. Comparison impact resistance of water hyacinth cushioning materials was compared with that of other materials, such as foam tablets and including shockproof plastic. The results showed that the best cushioning material was water hyacinth followed by shockproof plastic and foam tablets, respectively. The compost from water hyacinth obtained from the research had pH level of 6.92, moisture content was at 10.03%, total nitrogen was at 1.03%, total phosphorus was at 0.28%, and the ratio between carbon and nitrogen was 30.65. These properties are equivalent to that of organic fertilizer criteria developed by the Department of Agriculture, Thailand.

Keywords: Cushioning material, Water hyacinth, Compost

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมมาเป็นเวลายาวนานหลายสิบปี ผักตบชวาปริมาณมากที่พบในแม่น้ำลำคลองกีดขวางการสัญจรทางเรือ อีกทั้งยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย เป็นอุปสรรคต่อการเจริญเติบโตของปลาและการจับปลา นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อมนุษย์โดยเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพาหะนำโรค ปัจจุบันมีการดำเนินการควบคุมปริมาณผักตบชวาได้หลายวิธี เช่น การใช้แรงงานคนและเครื่องจักรในการกำจัดออกจากแหล่งน้ำ การใช้ย่าฆ่าหญ้าในการกำจัด การนำมาใช้เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง และยังมีการนำผักตบชวามาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ เช่น รองเท้า จาน กระเป๋า และตะกร้า เป็นต้น (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5, 2554) วิธีการกำจัดผักตบชวาที่กล่าวมาข้างต้นต้องใช้แรงงานและเครื่องจักรที่มีราคาสูง นอกจากนี้การจักสานผักตบชวาต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ผลผลิตอาจมีราคาต่ำกว่าต้นทุนจึงทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ จนถึงปัจจุบันปัญหาการแพร่ระบาดของผักตบชวายังไม่มีแนวทางแก้ไขที่ประสบความสำเร็จ ดังนั้นผู้จัดทำโครงงานวิจัยจึงเกิดแนวคิดในการนำเอาผักตบชวามาสร้างคุณค่าให้เกิดประโยชน์สูงสุดด้วยวิธีการที่ง่ายและต้นทุนต่ำ โดยการนำเอาผักตบชวามาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุกันกระแทกและปุ๋ยหมักจากผักตบชวา ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ไม่ซับซ้อน และต้นทุนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติชนิดอื่น เช่น แกลบ ขี้เลื้อย แป้ง และน้ำยาง เป็นต้น ทุกคนสามารถทำได้ในครัวเรือนและเป็นที่ต้องการของตลาด แต่อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ทั้งคู่ยังขาดการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้น ดังนั้นเพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้มาตรฐาน และมีข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่น่าเชื่อถือ งานวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแล้วนำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยนำผักตบชวากันกระแทกไปเปรียบเทียบความสามารถการกันกระแทกกับวัสดุกันกระแทกชนิดอื่น และนำคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่วิเคราะห์ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ของกรมวิชาการเกษตร (2557) ผลการศึกษาสามารถช่วยส่งเสริมให้ชุมชนเห็นถึงประโยชน์ของผักตบชวา และเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ โดยการนำผักตบชวาไปใช้ประโยชน์ นอกจากจะได้ลดปริมาณผักตบชวาลงแล้ว ยังสามารถก่อให้เกิดรายได้เข้าสู่ครอบครัวหรือชุมชนเพิ่มขึ้นอีกช่องทางหนึ่งด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวากันกระแทก

(2) เพื่อศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

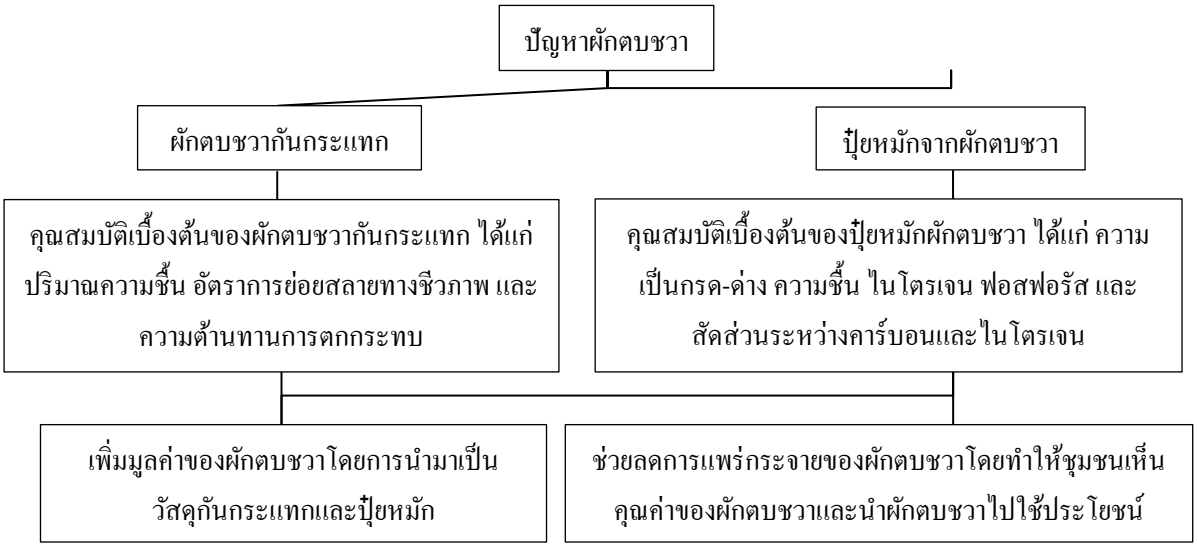
3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผักตบชวา (Water hyacinth) จัดเป็นวัชพืชที่มีถิ่นกำเนิดในแถบกลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล ในทวีปอเมริกาใต้ ประเทศไทยผักตบชวาได้แพร่ระบาดอย่างรุนแรงในแถบที่ราบลุ่มภาคกลางโดยเฉพาะในที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน น้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรมทำให้ในน้ำมีธาตุอาหารพืชสูง ทำให้ผักตบชวาเติบโตและแพร่ระบาดอย่างรวดเร็ว ผักชวาส่งผลเสียต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ในปัจจุบันมีการนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์เพื่อแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมายหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ การลดปริมาณขยะพลาสติกและโฟม โดยการนำผักตบชวามาทำเป็นกระถางชีวภาพ เยื่อกระดาษ และวัสดุกันกระแทก โดยการผลิตวัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาสามารถทำได้โดยเพียงนำส่วนลำต้นของผักตบชวาสดมา

หั่นให้เป็นท่อน ๆ ความยาว 1 นิ้ว แล้วนำมาตากแดดเป็นเวลา 3 วัน หรือจนกว่าจะแห้งสนิท นอกจากนี้ผักตบชวายังสามารถบำบัดน้ำเสีย โดยช่วยกรองน้ำ ดูดซับความโสโครก และสารพิษจากแหล่งน้ำเน่าเสีย ผักตบชวาสามารถนำมาทำปุ๋ยอินทรีย์ได้ โดยนำผักตบชวาสดมาผสมกับมูลสัตว์ หัวเชื้อจุลินทรีย์ และกากน้ำตาล (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5, 2554) และในต่างประเทศรวมถึงประเทศไทย มีการศึกษาคุณค่าทางอาหารของผักตบชวาเพื่อนำมาเป็นอาหารสัตว์ ถือว่าเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผักตบชวาโดยการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการปศุสัตว์ (Abdelhamid and Gabr, 1991; Hossain et al., 2015) แต่อย่างไรก็ดี การนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ยังไม่ได้รับความนิยมจากชุมชนเท่าที่ควร ชุมชนยังคงไม่เห็นคุณค่าของผักตบชวาเนื่องจากยังขาดข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติเบื้องต้นที่สามารถใช้ในการประชาสัมพันธ์เพื่อส่งเสริมการตลาด

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

วัสดุกันกระแทกจากผักตบชวาสามารถนำมาใช้ในการกันกระแทกได้จริงเทียบเท่ากับวัสดุกันกระแทกชนิดอื่น และปุ๋ยหมักจากผักตบชวามีคุณสมบัติเบื้องต้นเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวากันกระแทก

ทำการเก็บตัวอย่างผักตบชวาจากตำบลบางพลี อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และนำมาทำผักตบชวากันกระแทก โดยนำส่วนของลำต้นผักตบชวามาล้างทำความสะอาดและหั่นให้ได้ความยาวประมาณ 1 นิ้ว แล้วนำผักตบชวาที่ได้มาทำให้แห้งโดยการตากแดดเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน สุดท้ายนำผักตบชวากันกระแทกที่ได้มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้น ได้แก่ ความชื้น การย่อยสลายทางชีวภาพ และความต้านทานการตกกระทบ

การวิเคราะห์หาความชื้นทำโดยนำตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกไปอบให้แห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน นำตัวอย่างผักตบชวาก่อนและหลังการอบมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาร้อยละความชื้น (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพทำโดยนำตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกประมาณ 5 กรัม ใส่ในกระถางที่มีดินประมาณ 0.5 กิโลกรัม โดยการทดสอบการย่อยสลายมี 4 รูปแบบ ได้แก่ ฝังดินรดน้ำ ฝังดินไม่รดน้ำ ไม่ฝังดินรดน้ำ และไม่ฝังดินไม่รดน้ำ โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังต่อไปนี้

1) การฝังดินและรดน้ำ (buried and watered) ทำการ โดยนำตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกใส่ถุงตาข่ายแล้วนำไปฝังในดิน ณ กึ่งกลางของกระถาง และทำการรดน้ำปริมาตร 1 ลิตร ทุกวัน วันละครั้ง ณ เวลา 18.00 น.

2) การฝังดินแต่ไม่รดน้ำ (buried but not watered) ทำการ โดยนำตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกใส่ถุงตาข่ายแล้วนำไปฝังในดิน ณ กึ่งกลางของกระถาง แต่ไม่มีการรดน้ำ

3) ไม่ฝังดินแต่รดน้ำ (not buried but watered) ทำการ โดยใส่ดินจนเต็มกระถางแล้วนำตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกวางไว้ด้านบนดิน และทำการรดน้ำปริมาตร 1 ลิตร ทุกวัน วันละครั้ง ณ เวลา 18.00 น.

4) ไม่ฝังดินและไม่รดน้ำ (not buried and not watered) ทำการ โดยใส่ดินจนเต็มกระถางแล้วนำตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกวางไว้ด้านบนดิน แต่ไม่มีการรดน้ำ

การทดสอบการย่อยสลายทั้ง 4 รูปแบบ แบ่งระยะเวลาการย่อยสลายออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่ 20, 40 และ 60 วัน โดยแต่ละระยะมีการซ้ำทั้งหมด 3 ซ้ำ เมื่อครบกำหนดการย่อยสลายแต่ละระยะ ตัวอย่างผักตบชวากันกระแทกที่ผ่านการย่อยสลายถูกนำมาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วันและจดค่าน้ำหนักหลังการย่อยสลาย จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับน้ำหนักก่อนการทดสอบ เพื่อหาร้อยละน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป (Weight loss) ตามวิธีของ Wan et al., (2009)

การทดสอบความต้านทานการตกกระทบจะแบ่งวัสดุกันกระแทกออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวากันกระแทก โฟมเม็ด และพลาสติกกันกระแทก โดยบรรจุตัวอย่างในการทดสอบ ได้แก่ ไข่ไก่ และแก้วน้ำใส ใส่ในกล่องกระดาษขนาด 14 x 20 x 12 เซนติเมตร แล้วนำกล่องที่บรรจุวัสดุกันกระแทกและตัวอย่างไปทำการทดสอบแรงต้านทานการตกกระทบโดยการปล่อยจากที่สูงทั้งหมด 5 ระดับ ได้แก่ ระดับความสูง 1, 2, 4, 6 และ 9 เมตร จากพื้นดิน ทำการทดสอบเช่นนี้ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการแกะกล่องออกเพื่อดูความเสียหายภายในกล่องและจดบันทึก (ดัดแปลงจาก วรัญญู ศรีเดช และคณะ, 2554)

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวา

นำตัวอย่างผักตบชวาจากตำบลบางพลี อำเภอบางไทร จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มาทำปุ๋ยหมักแบบไม่พลิกกลับกองตามวิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1 (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2558) แล้วนำตัวอย่างปุ๋ยหมักที่ได้มาวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้นตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ของกรมวิชาการเกษตร (2557) ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความชื้น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด และสัดส่วนระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและปุ๋ยของกรมพัฒนาที่ดิน (2553) และ Allison (1965)

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หา ความชื้น การย่อยสลายทางชีวภาพ และความต้านทานการตกกระทบของผักตบชวากันกระแทก มาพรรณนาโดยใช้ค่าเฉลี่ยและร้อยละ นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้ค่าเฉลี่ย และ One – way ANOVA โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาความแตกต่างการเปรียบเทียบคุณสมบัติการย่อยสลายทางชีวภาพผักตบชวากันกระแทกของอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพในแต่ละรูปแบบ

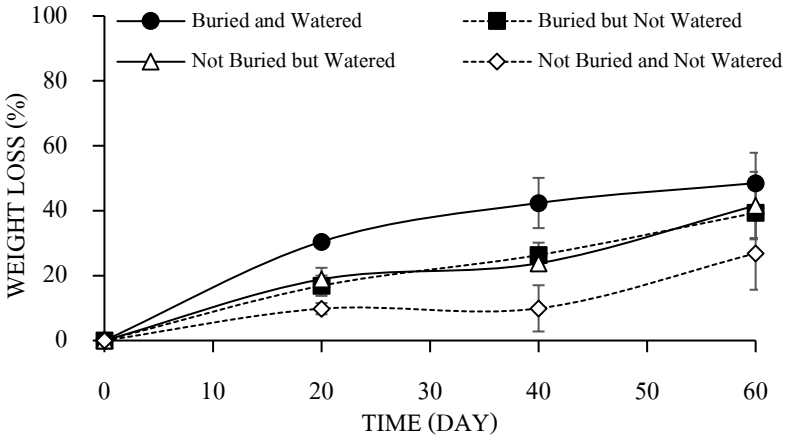
5. ผลการวิจัย

ผักตบชวากันกระแทกและปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ผลิตได้จากการวิจัยครั้งนี้แสดงในภาพที่ 2 โดยผลการทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวากันกระแทกพบว่า ผักตบชวากันกระแทกมีความชื้นร้อยละ 3.15 (ตารางที่ 1) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้งแต่ยังคงมีความยืดหยุ่นเหมือนฟองน้ำ เมื่อได้นำไปเก็บรักษาไว้ในที่แห้งและไม่มีแสงเป็นระยะเวลานานกว่า 6 เดือน พบว่าไม่มีเชื้อราเกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าผักตบชวากันกระแทกจะไม่มีแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคถ้าหากมีการเก็บรักษาให้ห่างไกลจากความชื้นและแสงแดด

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ประเมินอัตราการย่อยสลายของผักตบชวากันกระแทกจากค่าน้ำหนักตัวอย่างที่หายไป ตามระยะเวลา ผลการทดสอบพบว่า ผักตบชวาย่อยสลายได้ดีที่สุดในสภาวะที่ถูกฝังอยู่ในดินและมีการรดน้ำทุกวัน รองลงมา แบบไม่ฝังดินแต่รดน้ำ แบบฝังดินแต่ไม่รดน้ำ และแบบไม่ฝังดินและไม่รดน้ำ ตามลำดับ โดยภายในระยะเวลา 60 วัน ผักตบชวากันกระแทกมีการย่อยสลายร้อยละ 48.49±9.36, 41.58±10.40, 39.36±7.78 และ 26.86±11.22 ตามลำดับ (ภาพที่ 3)

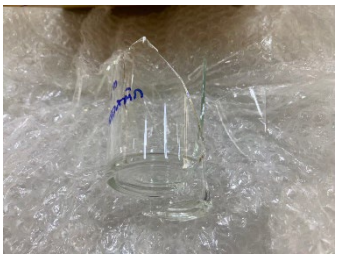
ภาพที่ 2 ผักตบชวากันกระแทก (ซ้าย) และปุ๋ยหมักจากผักตบชวา (ขวา) ที่ผลิตได้จากการวิจัยครั้งนี้

ผลการทดสอบทางสถิติ พบว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของผักตบชวากันกระแทกที่ระยะ 20, 40 และ 60 วัน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P-Value < 0.000) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพในแต่ละรูปแบบ พบว่า ในระยะ 20 และ 40 วัน อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพทั้ง 4 รูปแบบ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมีค่า P-Value 0.001 และ 0.000 ตามลำดับ ในขณะที่ระยะ 60 วัน อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพทั้ง 4 รูปแบบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (P-Value 0.128)



ภาพที่ 3 ร้อยละน้ำหนักที่หายไป (weight loss) ของผักตบชวากันกระแทกในการทำสอบการย่อยสลาย

การทดสอบความต้านทานการตกกระทบ ทำโดยบรรจุผักตบชวากันกระแทกให้เต็มกล่องพัสดุ ใส่ตัวอย่างในการทดสอบเอาไว้กึ่งกลางกล่อง แล้วนำไปปล่อยลงจากที่สูง ผลการทดสอบพบว่า ผักตบชวากันกระแทกสามารถต้านทานการตกกระทบของไข่ไก่ได้ที่ระยะการตกจากที่สูงจากพื้นไม่เกิน 4 เมตร และสามารถต้านทานการตกกระทบของแก้วน้ำที่ระยะ 9 เมตร ในขณะที่โฟมเม็ดและพลาสติกกันกระแทกมีความสามารถต้านทานการตกกระทบได้น้อยกว่า โดยโฟมเม็ดสามารถต้านทางการตกกระทบของไข่ไก่ได้ที่ระยะ 2 เมตรเท่านั้น และแก้วน้ำเกิดความเสียหายเมื่อตกจากที่สูง 9 เมตร ถึงแม้ว่าพลาสติกกันกระแทกจะสามารถป้องกันไม่ให้ไข่ไก่เกิดความเสียหายได้เมื่อตกจากที่สูง 9 เมตร แต่ไม่สามารถต้านทานการตกกระทบของแก้วได้ กล่าวคือ แก้วน้ำเกิดความเสียหายที่ระดับความสูงเดียวกัน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการเกิดความเสียหายของไข่ไก่และแก้วน้ำในการทดสอบความต้านทางการตกกระทบ

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวากันกระแทก

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ความชื้น (ร้อยละ)	3.15
อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ	ร้อยละ 48.49 ภายในระยะเวลา 60 วัน
ความต้านทานการตกกระทบ	ไข่ไก่เกิดความเสียหายเมื่อตกจากที่สูง 6 เมตร ในขณะที่แก้วน้ำไม่เกิดความเสียหายตลอดการทดสอบ

ผลการวิเคราะห์หาคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาแสดงในตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2557) พบว่า ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ผลิตได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าความชื้น และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เป็นตามเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ต่ำกว่าเกณฑ์ และมีสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) สูงกว่าเกณฑ์

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวากับเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2557)

พารามิเตอร์	ปุ๋ยหมักจากผักตบชวา	เกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์
pH	6.92 ± 0.06	ไม่ระบุ
ความชื้น (ร้อยละ)	10.03 ± 0.02	< 30
ไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	1.03 ± 0.04	> 1.0
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (ร้อยละ)	0.28 ± 0.01	> 0.5
คาร์บอนต่อไนโตรเจน	30.65 ± 1.28	< 20

6. อภิปรายผล

ผลการทดลองพบว่า ผักตบชวากันกระแทกที่ผลิตได้จากงานวิจัยครั้งนี้มีคุณสมบัติเบื้องต้นคล้ายคลึงกับวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติชนิดอื่น ๆ (ชูเกียรติ อนันต์เวทยานนท์ และคณะ, 2558) เมื่อเปรียบเทียบกับโฟมเม็ดและพลาสติกกันกระแทกผลงานวิจัยพบว่าผักตบชวากันกระแทกมีประสิทธิภาพการต้านการตกกระทบสูงกว่าวัสดุดังกล่าว โดยสามารถต้านทานการตกกระทบไข่ไก่ที่ตกจากที่สูง 4 เมตร และสามารถกันกระแทกแก้วน้ำที่ตกจากที่สูง 9 เมตรได้ ในขณะที่โฟมเม็ดและพลาสติกกันกระแทก ไข่ไก่และแก้วน้ำเกิดความเสียหายเมื่อตกจากที่สูงในระดับดังกล่าว ตามลำดับ นอกจากนี้ผลงานวิจัยยังพบว่าผักตบชวากันกระแทกสามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ในขณะที่โฟมเม็ดและพลาสติกกันกระแทกไม่สามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าผักตบชวากันกระแทกสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุกันกระแทกได้จริง และสามารถนำมาทดแทนการใช้โฟมและพลาสติกได้ ซึ่งมีส่วนช่วยอย่างมากในการลดขยะที่เกิดจากวัสดุดังกล่าวที่ย่อยสลายยากและเป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามการวิจัยครั้งนี้ยังขาดการคำนวณต้นทุน การทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ด้านบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ การต้านทานแรงกด การต้านทานแรงสั่นสะเทือน ร้อยละการหดตัว ร้อยละการคืนตัวเนื่องจากแรงอัด และร้อยละการกระเด้งตัว ในอนาคตผักตบชวากันกระแทบควรผ่านการทดสอบเหล่านี้เพื่อผลักดันให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล

ผักตบชวากันกระแทกมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากกว่าวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อน ต้องใช้เครื่องจักรกล มีส่วนผสมของสารเคมี ต้นทุนสูง และประสิทธิภาพในการกันกระแทกยังไม่สามารถเทียบเท่ากับโฟมและพลาสติกได้ โดยผลการวิจัยครั้งนี้พบว่ากระบวนการผลิตผักตบกันกระแทกไม่มีความยุ่งยาก เพียงเก็บผักตบชวาสดมาล้างให้สะอาด นำส่วนของลำต้นมาหั่นเป็นท่อน ๆ และตากแห้ง อุปกรณ์ที่ใช้มีเพียง มีด เขียง และแรงงานคนในการทำเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลใด ๆ จึงทำให้มีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติอื่น เช่น วัสดุกันกระแทกจากแกลบผสมฟองน้ำธรรมชาติ ซึ่งถึงแม้จะสามารถนำไปใช้งานได้จริง แต่มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าโฟมพอลีสไตรีนมาก (สุวิมล เทียกทุม และหทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ, 2559) และวัสดุกันกระแทกจากขี้เลื่อย แป้ง และน้ำยาง ซึ่งถึงแม้ว่าจะสามารถกันกระแทกได้ แต่ประสิทธิภาพยังไม่ดี กระบวนการผลิตยุ่งยาก ต้นทุนการผลิตสูง และมีกลิ่นของสารเคมีที่ใช้ (วรัญญู ศรีเดช และคณะ, 2554) เป็นต้น

ในประเทศไทยมีการผลิตวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติหลายชนิด เช่น เส้นใยมะละกอ (ชูเกียรติ อนันต์เวทยานนท์ และคณะ 2558) แกลบ (สุวิมล เทียกทุม และหทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ, 2559) ขี้เลื่อย และน้ำยาง (วรัญญู ศรีเดช และคณะ, 2554) แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่แสดงถึงอัตราการย่อยสลายและวิธีการกำจัดวัสดุกันกระแทกจากธรรมชาติ ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นครั้งแรกที่แสดงอัตราการย่อยสลายของผักตบชวากันกระแทก โดยการนำผักตบชวากันกระแทกไปฝังดินและรดน้ำทุกวันทำให้น้ำหนักผักตบชวาหายไปสูงสุดร้อยละ 48.49 ภายในระยะเวลา 60 วัน หรือถูกย่อยสลายโดยสมบูรณ์ภายในเวลาเพียง 4 เดือน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่สั้นมากเพื่อเทียบกับอัตราการย่อยสลายของโฟมและพลาสติกที่ใช้เวลาในการย่อยสลายยาวนานถึง 30 และ 50 ปี ตามลำดับ (Pellizzi et al., 2014; Muller et al., 2001) อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์โฟมกัน กระแทกจากแป้ง นับว่าผักตบชวากันกระแทกมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าโฟมแป้งซึ่งมีอัตราการย่อยสลายร้อยละ 65-80 ภายในระยะเวลาเพียง 35 วัน ถึงแม้ว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แต่อัตราการย่อยสลายที่รวดเร็วอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีระยะเวลาการใช้งานที่สั้น และอาจก่อให้เกิดปัญหาเมื่อมีการนำไปใช้ในเชิงพานิช (Sohn et al., 2019) ดังนั้นผักตบชวากันกระแทกจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้เชิงพานิชมากกว่า เนื่องจากระยะเวลาการใช้งานผักชวา

กันกระแทกยาวนานกว่าถ้าเก็บรักษาในที่แห้งและพ้นจากแสงแดด นอกจากนี้ยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เพียงตากแดดให้แห้งเท่านั้น

ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาพบว่า ปุ๋ยที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2557) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหารกับปุ๋ยหมักสูตรอื่น ๆ พบว่า ปุ๋ยหมักจากผักตบชวามีปริมาณธาตุอาหารมากกว่าปุ๋ยหมักที่มีมูลสัตว์เป็นส่วนผสมหลัก (วัฒนณรงค์ มากพันธ์ และคณะ 2560) แต่มีปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และมูลแพะ (ทัศนีย์ แก้วมรกฎ, 2557) ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่พบสูงใน เศษหอมแดง และกระดูกโค นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักจากผักตบชวาเช่นเดียวกัน แต่มีการเพิ่มกิ่งไม้แห้ง/สด พบว่า ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่มีส่วนผสมของกิ่งไม้ มีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าปุ๋ยหมักที่มีผักตบชวาเป็นส่วนผสมหลักเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเพิ่มกิ่งไม้ลงในปุ๋ยมีส่วนช่วยในการเพิ่มไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปุ๋ย (รุจิรา เดชสูงเนิน, 2559) ดังนั้นหากต้องการเพิ่มปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักควรเพิ่มส่วนผสมที่มีไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัสปริมาณมาก ในงานวิจัยครั้งนี้ปุ๋ยหมักจากผักตบชวาที่ได้ยังมีปริมาณฟอสฟอรัสและสัดส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน ไม่ผ่านเกณฑ์ (ตารางที่ 2) ทั้งนี้อาจเนื่องจากปุ๋ยหมักมีส่วนผสมหลักเพียงผักตบชวาและมูลวัวเท่านั้น นอกจากนี้สัดส่วนของราก ลำต้น และใบ ของผักตบชวาที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักอาจไม่สมดุล หากต้องการปรับปรุงสมบัติให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตรสามารถทำได้โดยการเพิ่มสัดส่วนของลำต้นและใบในกระบวนการผลิตปุ๋ย ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสและไนโตรเจนสูงถึงร้อยละ 0.58 และ 10.1-11.2 ตามลำดับ (Abdelhamid and Gabr, 1991; Hossain et al., 2015)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ผลการทำสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของผักตบชวากันกระแทกสามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ต่อในการผลิตด้านอุตสาหกรรมโดยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตผักตบชวากันกระแทกให้ดียิ่งขึ้น และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบอัตราการย่อยสลายสามารถนำไปใช้ในการส่งเสริม ประชาสัมพันธ์ การวางระบบหรือแบบแผนการตลาด ตามหลักการ Bio-Circular-Green Economic Model (BCG Model)

(2) ผลของการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของปุ๋ยหมักจากผักตบชวาสามารถนำไปใช้เพื่อยืนยันคุณภาพของปุ๋ยหมักว่าเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร และสามาร5นำไปใช้งานได้จริง ข้อมูลที่ได้สามารถไปช่วยส่งเสริมให้ชุมชนนำปุ๋ยหมักจากผักตบชวาไปขาย เพื่อเป็นการสร้างรายได้จากผักตบชวา

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือและการนำผักตบชวากันกระแทกไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ควรเพิ่มเติมการคำนวณต้นทุนการผลิต การทดสอบคุณสมบัติของผักตบชวากันกระแทกตามมาตรฐานอุตสาหกรรม

(2) การทดสอบการย่อยสลายทางชีวภาพของผักตบชวากันกระแทกยังขาดการวิเคราะห์ธาตุอาหารในดินหลังการย่อยสลาย จึงควรมีการวิเคราะห์ประมาณธาตุอาหารในดินที่ทำการทดสอบ เพื่อเป็นการดูว่าดินที่ใช้ในการทดสอบการย่อยมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้นหรือลดลง

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือ ห้องปฏิบัติการ และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553). *คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี.* กรุงเทพ ฯ : ผู้แต่ง

กรมวิชาการเกษตร. (2557) *ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง กำหนดเกณฑ์ปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2557.* พิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 131 ตอนพิเศษ 29 ง ลงวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2557.

ชูเกียรติ อนันต์เวทยานนท์ ธานี สุคนธะชาติ และมัทธนี ปราโมทย์เมือง. (2558). *การศึกษาและพัฒนาวัสดุกันระแทกจากเส้นใยพืชมะละกอในงานบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์แก้วและเซรามิค.* กรุงเทพ ฯ : คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

ทัศนีย์ แก้วมรกฎ. (2557). *การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษหอมแดง กระดูกโคเผาป่น และมูลแพะ.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรดิน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร. (2558*). การผลิตปุ๋ยอินทรีย์ปริมาณมากแบบไม่พริกกลับกอง วิธีวิศวกรรมแม่โจ้ 1.* เชียงใหม่: โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมอาหารอินทรีย์จังหวัดเชียงใหม่.

รุจิรา เดชสูงเนิน. (2559). *ผลของวัสดุในการย่อยสลายกิ่งไม้ที่ย่อยตากแห้งต่อการเจริญเติบโตของไม้ประดับในกระถาง.* ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

วรัญญู ศรีเดช เถวียน วิทยา และอาภัสราพร พรหมพันธุ์ใจ. (2554). *การผลิตวัสดุกันกระแทกสำหรับบรรจุภัณฑ์จากขี้เลื่อย แป้งและน้ำยางพารา.* สำนักงานกองทุนสนับมนุนการวิจัย (สกว.) สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ เกษมสันติ์ คำบุญมา และปิยะ ขวดแก้ว. (2560). ปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักชนิดต่าง ๆ จากขยะอินทรีย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*, 20(2), 19-28.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 5. (2554). *คู่มือการจัดการผักตบชวา.* นครปฐม: ผู้แต่ง.

สุวิมล เทียกทุม และหทัยนุช จันทร์ชัยภูมิ. (2559). การพัฒนาวัสดุกันกระแทกจากแกลบผสมฟองน้ำยางธรรมชาติเพื่อการขนส่งมะม่วงน้ำดอกไม้. *หนังสือประมวลบทความการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2559,* วันที่ 29 เมษายน 2559, 352-360.

Abdelhamid, A.M., Gabr, A.A. (1991). Evaluation of water hyacinth as feed for ruminants. *Archive Animal Nutrition,* 41, 745-756.

Allison, L.E. (1965). *Organic Carbon.* In Methods of soil analysis, part 2 no. 9 pp 1367-1378. Madison, Wisconsin : American Society of Agronomy

Hossain, M.E., Sikder, H., Kabir, M.H., Sarma, S.M. (2015). Nutritive value of water hyacinth (Eichhornia crassipes). *Online Journal of Animal and Feed Research,* 5(2), 40-44.

Muller, R.-J., Kleeberg, I., Deckwer, W.-D. (2001). Biodegration of polyesters containing aromatic constituents. *Journal of Biotechnology*, 86, 87-95.

Pellizzi, E., Lattuati-Derieux, A., Lavedrine, B., Cheradame, H. (2014). Degradation of polyurethane ester foam artifacts: Chemical propoties, mechanical propoties and comparison between accelerated and natural degradation. *Polymer Degradation and Stability*, 107, 255-261.

Sohn, J.S., Kim, H.K., Kim, S.W., Ryu, Y., Cha, S.W. (2019). Biodegradable foam cushions as ecofriendly packing materials. **S***ustainability*, 11, 1731.

Wan, Y.Z., Honglin. L.F.H., Liang, H., Huang. Y. and Li.X.L. (2009). Mechanical, moisture absorption and biodegradation behaviours of bacterial cellulose fibre – reinforced starch biocomposites**.** *Composites Science and Technology*, 69, 1212-1217.

การปรับปรุงสายพันธุ์ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* 6020B ที่ทนต่อเอทานอลและต่ออุณหภูมิโดยใช้สารอะคริฟลาวินและรังสีเหนือม่วง

ETHANOL TOLERANT AND THERMOTOLERANT STRAIN IMPROVEMENT OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* 6020B USING ACRIFLAVINE AND ULTRAVIOLET RADIATION

กรองจันทร์ รัตนประดิษฐ์

สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: krongchan@buu.ac.th

สมจิตต์ ปาละกาศ

ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และศูนย์วิจัยนิวเคลียร์ทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: somchit.p@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการปรับปรุงสายพันธุ์และคัดเลือกไอโซเลตที่อยู่รอดหลังการเหนี่ยวนำด้วยสารอะคริฟลาวินและรังสีเหนือม่วงโดยทำการศึกษายีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* 6020B ที่ผ่านการเหนี่ยวนำด้วยสารอะคริฟลาวิน ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที รวม 2 ครั้ง ก่อนจะนำมาผ่านการเหนี่ยวนำด้วยรังสีเหนือม่วงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ระยะห่าง 14 เซนติเมตร เป็นเวลา 60 นาที อีก 2 ครั้ง คัดเลือกยีสต์ที่รอดชีวิตได้ 17 ไอโซเลต พบว่า ไอโซเลต 311 ซึ่งผ่านการได้รับเหนี่ยวนำด้วยสารอะคริฟลาวิน 2 ครั้ง และผ่านฉายรังสีเหนือม่วง 1 ครั้ง มีขนาดของโคโลนี 1 มิลลิเมตร มีความทนต่อเอทานอลและทนต่ออุณหภูมิสูงที่สุด โดยสามารถเจริญได้ในสภาพที่มีเอทานอลเข้มข้น ร้อยละ 18 (ปริมาตรต่อปริมาตร) และทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 48 องศาเซลเซียส และมีความสามารถในการผลิตเอทานอลที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ได้ร้อยละ 8.91 ± 0.19 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ซึ่งสูงกว่าสายพันธุ์เดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาเลี้ยงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ผลิตเอทานอลได้ไม่แตกต่างจากสายพันธุ์เดิม

คำสำคัญ: ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* อะคริฟลาวิน รังสีเหนือม่วง

ABSTRACT

In the present study, yeast strain improvement and selection of viable isolates after induced mutation using acriflavine and UV radiation were investigated. *Saccharomyces cerevisiae* 6020B were successive double induced mutation using 20 ug/mL of acriflavin during 60 min and double induced mutation using 254 nm UV radiation at 14 cm distance during 60 min. Seventeen viable isolated were selected. Among those selected

isolates, isolate 311, obtained after double exposure to acriflavin and single UV irradiation, exhibited high ethanol and temperature tolerance levels up to 18% (v/v) and 45 °C, respectively. Regarding to ethanol production, culture of this isolate under room temperature (30 °C) exhibited the highest ethanol production capacity of 8.91 ± 0.19% which is significantly greater that its wild strain ($p<0.05$). However, ethanol production at 40 °C did not differ significantly from the wild strain. to ethanol tolerant and thermotolerant strains properties as well as ethanol production potential of *Saccharomyces cerevisiae* 6020B after exposed to acriflavin and UV radiation were characterized

Keywords: Yeast, *Saccharomyces cerevisiae,* Acriflavine, Ultraviolet

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในกระบวนการผลิตเอทานอลโดยอาศัยกระบวนการหมักทางชีวภาพ จุลินทรีย์ที่ได้รับความนิยม คือ การใช้ยีสต์ *Saccharomyces cereviaise* ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยสำคัญคือ สายพันธุ์ยีสต์ สภาวะที่เหมาะสมอื่นๆ เช่น แหล่งอาหารของยีสต์ ชนิดของวัตถุดิบ ปริมาณสารอาหาร อุณหภูมิ และความเป็นกรดเบส เป็นต้น นอกจากนี้มีปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการหยุดการทำงานของยีสต์ คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก ส่งผลทำให้การเจริญและผลผลิตเอทานอลโดยรวมลดลง ดังนั้นในระดับอุตสาหกรรมจึงจำเป็นต้องใช้ระบบหล่อเย็นเพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น แนวทางหนึ่งที่จะแก้ปัญหานี้คือ การหมักเอทานอลโดยใช้ยีสต์ทนร้อน (thermotolerant yeast) ซึ่งมีข้อดีคือ ลดปัญหาต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตเอทานอลของยีสต์ เช่น ทำให้ระยะเวลาในการหมักสั้นลงซึ่งทำให้อัตราการผลิตเอทานอลสูง และยังช่วยลดปัญหาการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการ การลดปัญหาเรื่องแรงดันออสโมซิสและประหยัดค่าใช้จ่ายของระบบหล่อเย็นนับได้ว่าเป็นการลดต้นทุนการผลิตโดยรวม (Yuangsaard et al., 2013) ดังนั้นการเลือกกระบวนการหมักที่อุณหภูมิสูง (High temperature fermentation, HTF) ในการหมักเอทานอลมีข้อดีมากมาย จึงได้รับความสนใจและมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแยกยีสต์ที่สามารถเจริญและผลิตเอทานอลได้ที่อุณหภูมิสูง (Christensen et al., 2011; Isono et al., 2012) ดังนั้นโครงการวิจัยนี้มุ่งปรับปรุงสายพันธุ์ยีสต์ให้ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมระหว่างการหมักเพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตเอทานอล โดยเฉพาะการพัฒนาสายพันธุ์ยีสต์ที่ทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดีเพื่อประหยัดต้นทุนในการหล่อเย็นเนื่องจากเมืองไทยมีสภาพอากาศเป็นเมืองร้อนเป็นผลให้ระบบหล่อเย็นต้องทำงานตลอดเวลาซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุน ทั้งนี้จะคัดเลือกสายพันธุ์ยีสต์ที่สามารถทนร้อนได้สูงและปรับปรุงสายพันธุ์ยีสต์ให้ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมในการหมักด้วยเทคนิคการชักนำให้เกิดการกลายโดยการใช้สิ่งก่อการกลายในรูปสารเคมีคือ อะคริฟลาวินและการฉายรังสีเหนือม่วง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อปรับปรุงสายพันธุ์ยีสต์ให้ทนทานต่อสภาวะแวดล้อมในการหมักด้วยเทคนิคการทรีตด้วยสารเคมีและรังสีเหนือม่วง

(2) เพื่อคัดเลือกไอโซเลทที่น่าสนใจมาตรวจสอบการทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม และการผลิตเอทานอล

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตเอทานอลในปัจจุบันจะใช้กระบวนการหมักโดยยีสต์เป็นหลัก ซึ่งมีข้อจำกัดทำให้การหมักหยุดชะงักลงได้ เช่น ความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก ความเข้มข้นของเอทานอล และการทนต่อแรงดันออสโมซิส เป็นต้น ซึ่งผลกระทบเหล่านี้จะส่งผลต่อเซลล์ยีสต์โดยตรงในการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ การแตกของเยื่อเมมแบรน การเปลี่ยนแปลงไปของการแลกเปลี่ยนไอออน การเปลี่ยนแปลงระดับของเอนไซม์ ATPase การสะสมของน้ำตาลทรีฮาโรส ความเสียหายของดีเอนเอในมิโตคอนเดรีย การลดลงของกระบวนการ เมตาบอลิสม เป็นต้น จากปัจจัยดังกล่าวมีผลโดยตรงต่ออัตราการผลิตเอทานอลของยีสต์ (Yuangsaard et al., 2013) ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่ศึกษาปรับปรุงพันธุกรรมยีสต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการทนสภาวะแวดล้อมต่างๆ ในระหว่างการหมักเอทานอล เช่น การทนต่อความเข้มข้นของเอทานอล การทนต่อความเข้มข้นของน้ำตาล และการทนร้อน เป็นต้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตแอลกอฮอล์ได้สูงขึ้นในระดับอุตสาหกรรมโดยการชักนำให้เกิดการกลายด้วยวิธีการทางกายภาพและทางเคมี เช่น การกลายด้วยการใช้รังสี ได้แก่ รังสีเหนือม่วง และรังสีแกมม่า (Watanabe et al., 2011 ; Mehdikhani et al., 2011) การใช้สารเคมี Ethyl methanesulphonate N-methyl-N0-nitro-N-nitrosoguanidine (French, et al., 2006 ; Calmann & Marinus, 2005) เป็นต้น ดังนั้นกรอบแนวคิดในการวิจัยเป็นการปรับปรุงพันธุ์ยีสต์ที่ผลิตเอทานอลและเจริญในอุณหภูมิสูงได้นำมาคัดเลือกซ้ำด้วย การเหนี่ยวนำให้เกิดการกลายด้วยสารเคมีอะคริฟลาวินและรังสีเหนือม่วง จากนั้นตรวจสอบการทนต่อเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ และการทนต่อความร้อนที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งคัดเลือกไอโซเลทที่น่าสนใจนำมาตรวจสอบความสามารถในการผลิตเอทานอล

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เชื้อจุลินทรีย์และสารเคมี ยีสต์ *S. cerevisiae* 6020B ที่คัดเลือกได้จากการเหนี่ยวนำเพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตเอทานอล (กมลทิพย์ วรศิลป์ชัย และคณะ, 2558) มาเป็นสายพันธุ์พ่อแม่ (สายพันธุ์เดิม) ในการทดลองครั้งนี้ โดยเลี้ยงอาหาร YPD (Yeast Extract-Peptone-Dextrose medium) เป็นหลัก และการใช้อาหาร ALP (solid aerobic low peptone) (Mobini-Dehkordi, et. Al., 2008) เพื่อตรวจสอบการทนต่อเอทานอลบนอาหารแข็ง การใช้สารอะคริฟลาวินเพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการกลาย และการใช้รังสีเหนือม่วงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร มีระยะห่าง 14 เซนติเมตร จากตัวอย่างที่นำมาฉายรังสี

4.2 การเหนี่ยวนำยีสต์ด้วยสารอะคริฟลาวิน นำยีสต์ *S. cerevisiae* 6020B มาทำการถ่ายเชื้อลงอาหารเหลว YPD เลี้ยงบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเจือจางความเข้มข้นเซลล์ 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นปิเปตเชื้อ 1 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นสเตอริไรส์ 2 ครั้ง และเจือจางความเข้มข้นของเซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 1×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ทำการทรีตเชื้อด้วยสารอะคริฟลาวินที่ความเข้มข้น 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อัตราส่วน 1: 1 ทิ้งไว้ 60 นาที จากนั้นปิเปตเชื้อที่ผ่านการทรีตแล้วลงในอาหารเหลว YPD โดยใช้เทคนิคการกระจายเชื้อ (spread plate) นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นและวัดขนาดของโคโลนีที่เกิด ทำการเลือกเก็บเฉพาะโคโลนีที่เล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดถ่ายลงบนอาหารวุ้นเอียง YPD เพื่อนำมาทำการกลายซ้ำครั้งที่ 2 เช่นเดียวกับครั้งที่ 1 และเลือกเก็บเฉพาะโคโลนีที่เล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดถ่ายลงบนอาหารวุ้นเอียง YPD เพื่อนำไปใช้ในการทดลองข้อต่อไป

4.3 การเหนี่ยวนำยีสต์ด้วยการฉายรังสีเหนือม่วง นำยีสต์ที่คัดเลือกจากการทรีตด้วยสารอะคริฟลาวิน เลี้ยงในอาหารเหลว YPD บนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาทีที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเจือจางความเข้มข้น 1×10^6 เซลล์ต่อมิลลิลิตร จากนั้นปิเปตเชื้อ 1 มิลลิลิตร ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อล้างเซลล์ด้วยน้ำกลั่นสเตอไรส์ 2 ครั้ง จากนั้นเจือจางความเข้มข้นเซลล์เริ่มต้น 1×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ปิเปตเชื้อ 1 มิลลิลิตร นำไปฉายรังสีเหนือม่วง มีระยะห่าง 14 เซนติเมตร ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เวลา 60 นาที ปิเปตเชื้อที่ผ่านการทรีตแล้วลงในอาหารแข็ง YPD โดยใช้เทคนิคการกระจายเชื้อ จากนั้นนำไปบ่มในที่มืด อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น และวัดขนาดของโคโลนีที่เกิด ทำการเลือกเก็บเฉพาะโคโลนีที่เล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดถ่ายลงบนอาหารวุ้นเอียง YPD และนำมาทำการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตซ้ำอีกครั้ง และเลือกเก็บเฉพาะโคโลนีที่เล็กที่สุดและใหญ่ที่สุดถ่ายลงบนอาหารวุ้นเอียง YPD เพื่อนำไปใช้ในการทดลองข้อต่อไป

4.4 การศึกษาการทนเอทานอลของยีสต์ นำยีสต์ที่ผ่านการกลายซ้ำด้วยสารอะคริฟลาวิน และการฉายรังสีเหนือม่วง รวมทั้งสายพันธุ์เดิม มาถ่ายเชื้อลงในอาหารสำหรับทดสอบการทนต่อความเข้มข้นของเอทานอล ALP โดยเติมเอทานอล (ความเข้มข้นร้อยละ 99.9) ในปริมาตรความเข้มข้นร้อยละต่างๆ คือ 6, 8, 10, 12, 14, 16 ,18 และ 20 (ปริมาตรต่อปริมาตร) นำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของยีสต์

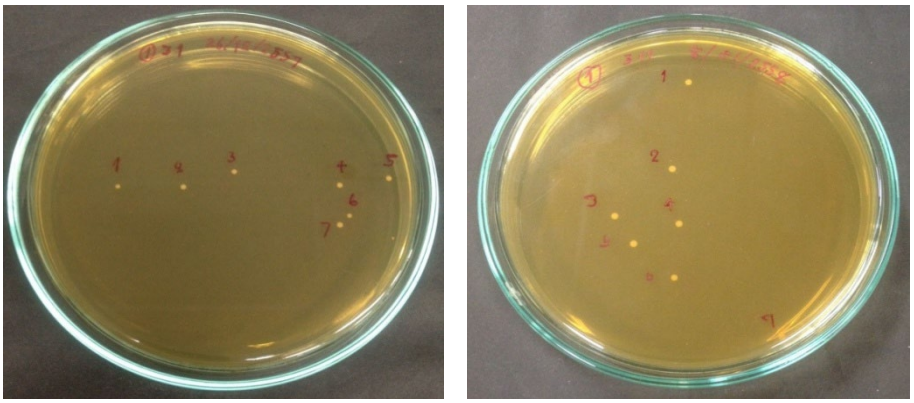
4.5 การศึกษาการทนความร้อนของยีสต์ นำยีสต์ที่ผ่านการกลายซ้ำด้วยสารอะคริฟลาวิน และการฉายรังสีเหนือม่วง รวมทั้งเชื้อสายพันธุ์เดิม มาถ่ายเชื้อลงในอาหารเหลว YPD นำไปบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 40, 42, 44, 46, 48 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อยีสต์ที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ มาเลี้ยงต่อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สังเกตการเจริญของยีสต์

4.6 การผลิตเอทานอลของยีสต์ นำยีสต์ที่คัดเลือกได้จากการกลายซ้ำด้วยสารอะคริฟลาวิน และการฉายรังสีเหนือม่วง รวมทั้งเชื้อสายพันธุ์เดิม มาเลี้ยงในอาหารเหลว YPD เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้น ทำการถ่ายหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 5 ลงในอาหารเหลว YPD ที่ดัดแปลงแหล่งคาร์บอนโดยใช้น้ำตาลทรายแดงทดแทนน้ำตาลกลูโคส 200 กรัมต่อลิตร เพื่อผลิตเอทานอล ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นจะเก็บตัวอย่างทุก ๆ 12 ชั่วโมง เพื่อนำไปตรวจสอบการเจริญ ปริมาณน้ำตาลคงเหลือ ความเป็นกรดเบส และวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์

5. ผลการวิจัย

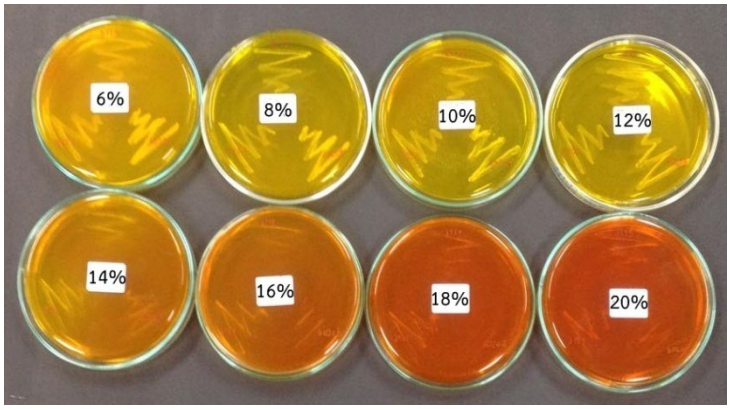
5.1 ลักษณะโคโลนีของยีสต์ที่ผ่านการเหนี่ยวนำด้วยสารอะคริฟลาวินและรังสีเหนือม่วง ในการเหนี่ยวนำยีสต์ *S. cerevisiae* 6020B ด้วยสารอะคริฟลาวิน 20 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที จำนวน 2 ครั้ง โดยใช้เซลล์เริ่มต้นเท่ากับ 1×10^4 เซลล์ต่อมิลลิลิตร พบว่าครั้งที่ 1 มีจำนวนโคโลนีเหลือรอด 9 โคโลนี ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 - 3.5 มิลลิเมตร คัดเลือกโคโลนีเพื่อทรีตซ้ำครั้งที่ 2 จำนวน 2 ไอโซเลต คือ 03 และ 07 ซึ่งมีขนาดของโคโลนี คือ 3.5 มิลลิเมตร และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยพิจารณาจากจำนวนโคโลนีเกิดขึ้นต่อเพลทเพียงโคโลนีเดียวหรือเกิดโคโลนีน้อยที่สุด และเก็บเฉพาะโคโลนีเล็กที่สุดและใหญ่ที่สุด พบว่ามีโคโลนีเหลือรอด 11 โคโลนี ซึ่งมีขนาด 1 - 4 มิลลิเมตร โดยได้คัดเลือกไอโซเลต 031, 071 และ 710 ซึ่งมีขนาดของโคโลนี 2, 1 และ 4 มิลลิเมตร ตามลำดับ นำมาผ่านการฉายรังสีเหนือม่วง 2 ครั้ง เป็นการทรีตครั้งที่ 3 และ 4 พบว่ามีขนาดโคโลนีอยู่ในช่วงระหว่าง 1.5 - 3 มิลลิเมตร ตัวอย่างดังแสดงในภาพที่ 1 สำหรับการฉายรังสีครั้งที่ 4 คัดเลือกยีสต์ได้ 17

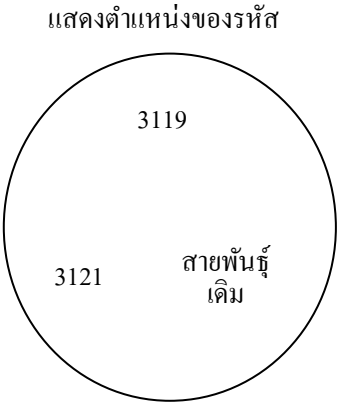
ไอโซเลต จากทั้งหมด 56 ไอโซเลต คือไอโซเลต 3118, 3119, 3121, 7111, 7142, 7144 และ 71011 ซึ่งมีขนาดของโคโลนี คือ 2, 1.5, 2, 3, 4, 2.5 และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป



ภาพที่ 1 ตัวอย่างลักษณะโคโลนีของยีสต์ที่ผ่านฉายรังสีเหนือม่วง ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เป็นเวลา 60 นาที ในการทรีตครั้งที่ 4

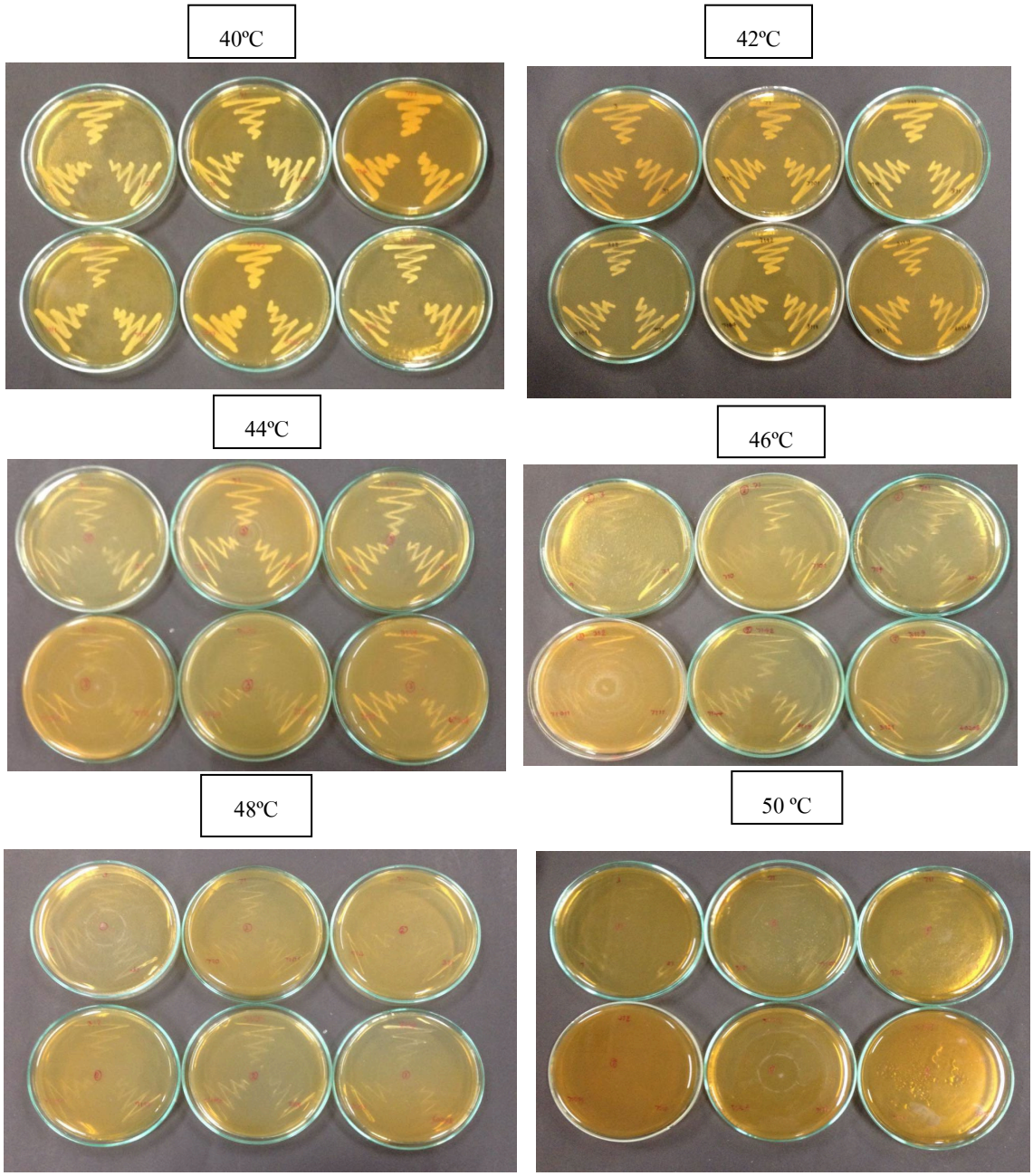
5.2 การทดสอบการทนต่อเอทานอลของยีสต์ที่ผ่านการกลายซ้ำ ในการทดสอบการทนต่อเอทานอลของยีสต์จำนวน 17 ไอโซเลต และสายพันธุ์เดิม ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 (ปริมาตรต่อปริมาตร) พบว่ายีสต์ 3 ไอโซเลต สามารถทนเอทานอลที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลสูงสุดร้อยละ 18 คือ ไอโซเลต 311, 3118 และ 3121 ส่วนสายพันธุ์เดิมสามารถทนเอทานอลได้สูงสุดที่ร้อยละ 16 ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าที่ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 6 - 10 จะเห็นการเจริญของยีสต์อย่างชัดเจน จากนั้นการเจริญของยีสต์จะค่อยๆลดลงในระดับความเข้มข้นของเอทานอลตั้งแต่ร้อยละ 12 - 18 และที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 20 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ไม่พบการเจริญของยีสต์





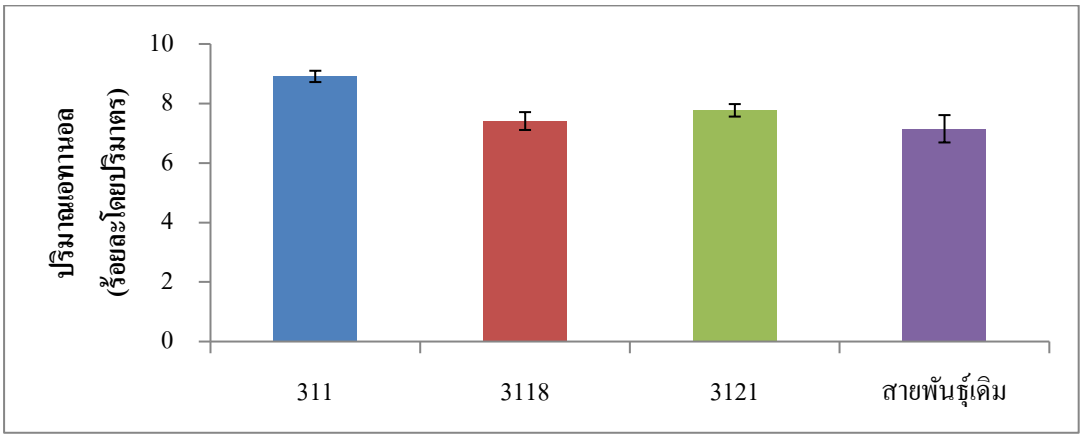
ภาพที่ 2 ตัวอย่างการเจริญของยีสต์ที่ผ่านการกลายซ้ำทดสอบกับอาหาร ALP ที่มีปริมาตรของเอทานอลที่เข้มข้น ร้อยละ 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

5.3 การทนต่ออุณหภูมิสูงของยีสต์ นำยีสต์ที่คัดเลือกได้จำนวน 17 ไอโซเลต และยีสต์สายพันธุ์เดิม มาทดสอบการทนต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกันที่ 40, 42, 44, 46, 48 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่ายีสต์ที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 48 องศาเซลเซียส ส่วนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ไม่พบการเจริญของยีสต์ ดังแสดงในภาพที่ 3 ในการเจริญของยีสต์ที่อุณหภูมิสูง พบว่า การเจริญเห็นได้ไม่ชัดเจนหรือเจริญได้น้อยขณะบ่มที่อุณหภูมิทดสอบเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง แต่เมื่อนำมาบ่มต่อที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่ายีสต์บางไอโซเลตจะมีการเจริญที่เห็นได้ชัดเจนขึ้น ดังนั้นได้คัดเลือกยีสต์ทั้ง 3 ไอโซเลต คือ ไอโซเลต 311, 3118 และ 3121 ไปทดสอบความสามารถในการผลิตเอทานอล

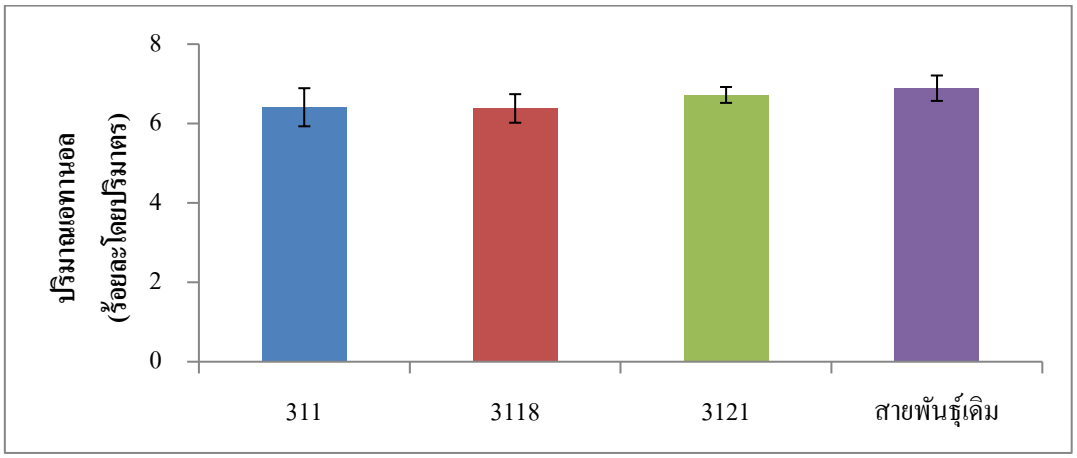


ภาพที่ 3 ตัวอย่างลักษณะการเจริญของยีสต์ที่ผ่านการกลายซ้ำด้วยสารอะคริฟลาวินและรังสีเหนือม่วง

5.4 การผลิตเอทานอลของยีสต์ที่ผ่านการกลายซ้ำ นำยีสต์ที่คัดเลือกจากการทนต่อความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 18 และทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 48 องศาเซลเซียส คือไอโซเลต 311, 3118 และ 3121 และยีสต์สายพันธุ์เดิมมาทดสอบความสามารถในการผลิตเอทานอล โดยเลี้ยงที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า การเลี้ยงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ยีสต์ที่คัดเลือกจำนวน 3 ไอโซเลต คือ 311 3118 และ 3121 ผลิตเอทานอลได้ร้อยละ 8.91 ± 0.19, 7.41 ± 0.30, 7.77 ± 0.21 ตามลำดับ ส่วนสายพันธุ์เดิมผลิตได้ร้อยละ 7.15 ± 0.46 (ภาพที่ 4) ส่วนการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่ายีสต์ไอโซเลตรหัส 311, 3118 และ 3121 สามารถผลิตเอทานอลได้ร้อยละ 6.41 ± 0.48, 6.38 ± 0.36 และ 6.72 ± 0.20 ตามลำดับ ส่วนยีสต์สายพันธุ์เดิมสามารถผลิต เอทานอลได้ร้อยละ 6.89 ± 0.32 (ภาพที่ 5) ผลที่ได้จึงทำให้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4 การผลิตเอทานอลของยีสต์ที่คัดเลือกและสายพันธุ์เดิมที่อุณหภูมิห้อง
ในอาหารเหลว YPD ที่ใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นแหล่งคาร์บอกทดแทน



ภาพที่ 5 การผลิตเอทานอลของยีสต์ที่คัดเลือกและสายพันธุ์เดิมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
ในอาหารเหลว YPD ที่ใช้น้ำตาลทรายแดงเป็นแหล่งคาร์บอนทดแทน

6. อภิปรายผล

จากการคัดเลือกไอโซเลทที่ได้จากการทรีตด้วยสารเคมีและรังสีโดยพิจารณาจากขนาดโคโลนีเล็กและใหญ่ที่สุดทั้งนี้ในการที่ผ่านมาพบว่ายีสต์ที่ผ่านการทรีตด้วยสารอะคริฟลาวินจะมีโคโลนีขนาดเล็กซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้สูง (กมลทิพย์ วรศิลป์ชัย และคณะ, 2558) เมื่อนำมาทดสอบการทนต่อความเข้มข้นของเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 และ 20 บ่มเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง พบยีสต์ไอโซเลต 311, 3118 และ 3121 เจริญได้ในอาหาร ALP ที่ความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 18 ส่วนเชื้อยีสต์สายพันธุ์เดิมสามารถทนเอทานอลได้สูงสุดที่ร้อยละ 16 ที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลร้อยละ 20 (ปริมาตรต่อปริมาตร) ยีสต์ไม่สามารถเจริญได้ ซึ่งสูงกว่ายีสต์ที่ผ่านการทรีตด้วยสาร Ethyl methanesulfonate (EMS) มีจำนวน 6 ไอโซเลตที่สามารถเจริญในอาหาร ALP ที่เติมเอทานอลร้อยละ *10* (Mobini-Dehkordi et al, 2008) ส่วนการตรวจสอบการทนร้อนของยีสต์ที่ผ่านการทรีตด้วยสารเคมีและรังสีจำนวน 17 ไอโซเลต และสายพันธุ์เดิม สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้ถึง 48 องศาเซลเซียส ผลสอดคล้องกับรายงานการคัดเลือกยีสต์ทนร้อนสายพันธุ์ *S. cerevisiae* มีจำนวน 5 ไอโซเลต ที่สามารถผลิตเอทานอลได้ดีทั้งในอุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส (Edgardo et al, 2008) แต่เมื่อนำมาศึกษาการผลิตเอทานนอลของยีสต์จำนวน 3 ไอโซเลต คือ 311 , 3118, 3121 และสายพันธุ์เดิม ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่า ไอโซเลต 311 ผลิตเอทานอลได้สูงกว่าสายพันธุ์เดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเป็นยีสต์ที่ผ่านการทรีตด้วยสารอะคริฟลาวิน 2 ครั้ง และทรีตด้วยเหนือม่วง 1 ครั้ง มีขนาด 1 มิลลิเมตร ส่วนการเลี้ยงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่ายีสต์ ทั้ง 3 ไอโซเลต และสายพันธุ์เดิมผลิตเอทานอลไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) งานวิจัยนี้เป็นการหาแนวทางในการปรับปรุงพันธุ์ยีสต์ ที่คัดแยกได้เพื่อให้สามารถทนต่ออุณหภูมิสูง เพื่อใช้ในการหมักเอทานอลในระดับอุตสาหกรรม ยังต้องมีการวิจัยกันต่อไป

(2) นำเชื้อที่เหลืออีกหลายๆ ไอโซเลทมาตรวจสอบกันต่อไป

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) การเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมต่อเพิ่มปริมาณเชื้อสูงและรวดเร็ว เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตเอทานอลได้มากยิ่งขึ้น

(2) การปรับปรุงสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเพิ่มความแข็งแรงให้กับยีสต์ที่คัดแยกได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานชิ้นนี้เป็นส่วนหนึ่งในงานวิจัยที่ได้รับทุนสนับสนุน จากมหาวิทลัยบูรพา จึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

กมลทิพย์ วรศิลป์ชัย สิริรัชต์ สิทธิชัย สมจิตต์ ปาละกาศ และกรองจันทร์ รัตนประดิษฐ์. (2558). การเพิ่มประสิทธิภาพของการหมักเอทานอลใน *S. cerevisiae* ATCC 4015 โดยการเหนี่ยวนำด้วยสารอะคริฟลาวิน. *การประชุมวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยนเรศวร.*

Calmann M.A. & Marinus, M.G. 2005. Differential effects of cisplatin and MNNG on DNA mutants of *Escherichia coli. Mutat. Res. Fund. Mol. Mech. Mut.,* 158, 406-416.

Christensen AD, Kadar Z, Oleskowicz-Popiel P, & Thomsen M.H. 2011. Production of bioethanol from organic whey using *Kluyveromyces marxianus*. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 38, 283-289.

Edgardoa A., Carolina P, Manuel R., Juanita F., & Aimea B. 2008. Selection of thermotolerant yeast strains *Saccharomyces cerevisiae* for bioethanol production*. Enzyme and Microbial Technol..* 43, 120–123.

French, C. T., Ross, C. D., Keysar, S. B., Joshi, D. D., Lim, C. U., & Fox, M. H. 2006. Comparison of the mutagenic potential of 17 physical and chemical agents analyzed by the flow cytometry mutation assay. *Mutat. Res.* 602, 14–25.

Isono N, Hayakawa H, Usami A, Mishima T, & Hisamatsu M. 2012. A comparative study of ethanol production by Issatchenkia orientalis strains under stress conditions. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 113(1), 76–78.

Mehdikhani P., Bari M. R. & Hovsepyan H. 2011. Screening of *Saccharomyces cerevisiae* for high tolerance of ethanol concentration and temperature. *African J. Microbiology Research.* 5(18), 2654-2660.

Mobini-Dehkordi, M., Nahvi, I., Zarkesh-Esfahani, H., Ghaedi, K.,Tavassoli, M., & Akada, R. 2008. Isolation of a novel mutant strain of *Saccharomyces cerevisiae* by an ethyl methane sulfonate-induced mutagenesis approach as a high producer of bioethanol, *J. Biosci. Bioeng.* 105, 403-408.

Watanabe, T., Watanabe I., Yamamoto, M. Ando, A. & Nakamura T.2011. A UV-induced mutant of Pichia stipitis with increased ethanol production from xylose and selection of a spontaneous mutant with increased ethanol tolerance. *Bioresource Technology*. 102, 1844-1848.

Yuangsaard N, Yongmanitchai W, Yamada M, Limtong S. 2013. Selection and characterization of a newly isolated thermotolerant *Pichia kudriavzevii strain* for ethanol production at high temperature from cassava starch hydrolysate. *Antonie Van Leeuwenhoek*. 103(3), 577-588.

การพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ (กรณีศึกษา: กองวิทยบริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ)

THE DEVELOPMENT OF COMPUTER REPAIR SYSTEM ONLINE: A CASE STUDY OF TECHNICAL SERVICE DIVISION, DIRECTORATE OF EDUCATION AND TRAINING, RTAF

สิริรัตน์ มัชฌิมาดิลก
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: sirirat.mu@spu.ac.th
อนันทวีป ใจเมา
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
E-mail: anunthawip.cha@spumail.net
เมวริน ชื่นชม
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
E-mail: mewarin.che@spumail.net

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบและนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ สำหรับใช้ในหน่วยงานกองวิทยบริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ ในการรับแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงของหน่วยงาน โดยสามารถบันทึกข้อมูลการซ่อม, ประวัติการแจ้งซ่อม, พิมพ์ใบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์ และรายงานผลสรุปออกจากระบบได้

การดำเนินการโครงงานใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นข้าราชการและพนักงานผู้ปฏิบัติงานในกองวิทย-บริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ มีหน่วยงานภายใน 4 หน่วยงาน ได้แก่ แผนกสื่อการศึกษา, แผนกเทคโนโลยีสารเทศ, แผนกกรรมวิธีข้อมูล และหอสมุดกองทัพอากาศ จำนวน 20 คน โดยให้ทดลองใช้ระบบที่สร้างขึ้น เสร็จแล้วให้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้ระบบฯ

ผลการดำเนินโครงงาน พบว่า ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ที่พัฒนาขึ้น ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$=4.34, S.D.= 0.86) และเมื่อพิจารณาเป็นรายการประเมินในแต่ละด้าน พบว่า ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$=4.44, S.D.= 0.75) รองลงมาคือ ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันการทำงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$=4.36, S.D.= 0.82) และด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ มาก ($\bar{x}$=4.21, S.D.= 1.01) แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมามีคุณภาพสามารถนำไปใช้ได้

คำสำคัญ: กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ, ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์

ABSTRACT

The objectives of this research and development were to development of Computer Repair System Online of Technical Service Division, Directorate of Education and Training (RTAF), and to implement the system for the RTAF. The system is applicable so that the users feel convenient to report a repair, track the repair status, and access the repair list rapidly, resulting in more effective service.

The population consisted of 20 civil servants and employees, who work in the Technical Service Division, Directorate of Education and Training (RTAF). The research instrument was composed of an assessment on the satisfaction of the program. The data were analyzed for mean and standard deviation, and the results are presented descriptively. The research results are summarized as follows.

The user satisfaction evaluation of the Computer Repair System Online was divided into 3 aspects: functional requirement test, functional test, and usability test. The results were as followed: the highest mean score was functional requirement test ($\bar{x}$==4.44, S.D.= 0.75), followed by functional test ($\bar{x}$=4.36, S.D.= 0.82) and usability test ($\bar{x}$=4.21, S.D.= 1.01), respectively. The overall mean score of satisfactions was at high level ($\bar{x}$=4.34, S.D.= 0.86)

Keywords: Directorate of Education and Training (RTAF), Computer Repair System Online

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

กองวิทยบริการ เป็นหน่วยงานที่อยู่ในสังกัดกรมยุทธศึกษาทหารอากาศ มีหน้าที่ดำเนินการเกี่ยวกับงานเทคโนโลยีทางการศึกษา งานโสตทัศนูปกรณ์ งานสารสนเทศทางการศึกษา งานกรรมวิธีข้อมูล และกิจการหอสมุดกองทัพอากาศ เพื่อให้การสนับสนุนแก่สถานศึกษาและหน่วยงานในกรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

ปัจจุบันกองวิทยบริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ มีหน่วยงานภายใน 4 หน่วยงาน ได้แก่ แผนกสื่อการศึกษา, แผนกเทคโนโลยีสารเทศ, แผนกกรรมวิธีข้อมูล และหอสมุดกองทัพอากาศ ซึ่งหน่วยงานทั้งหมดมีการใช้งานอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอินเทอร์เน็ต บางครั้งอาจพบปัญหาในการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้ได้ ทั้งอาการเสียหรือปัญหาที่พบของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยจะมีแผนกเทคโนโลยีสารสนเทศคอยดูแลและแก้ไขปัญหาตามที่ได้รับการแจ้งเข้ามา ผู้แจ้งซ่อมจะบันทึกข้อมูลชื่อผู้แจ้งซ่อม ข้อมูลอาการเสีย โดยข้อมูลการแจ้งซ่อมทั้งหมดจะถูกบันทึกลงในกระดาษ ซึ่งการจดบันทึกข้อมูลต่างๆ นี้อาจจะมีข้อผิดพลาด ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจสอบข้อมูลการแจ้งซ่อม และเกิดการสูญหายของข้อมูล เป็นปัญหาในการนำข้อมูลมาใช้งานหรือการรายงานผล

จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว คณะผู้จัดทำได้มองเห็นความสำคัญในการดำเนินงานของหน่วยงาน จึงพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ขึ้นมา เพื่อใช้ระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลการแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยสามารถใช้งานระบบผ่านอินเทอร์เน็ตด้วยโปรแกรมเว็บบราวเซอร์ (Web Browser) สามารถรายงานผลได้แบบเรียลไทม์ (Real Time) และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการพัฒนาโปรแกรมระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์

2.2 เพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์

2.3 เพื่อพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ และนำไปใช้งานได้จริง

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับข้อมูลและฐานข้อมูล (Data & Database System)

1) ข้อมูล เมื่อพิจารณาในแง่ขององค์การ สามารถให้ความหมายได้ 2 แบบ (กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, 2548: 22) คือ ข้อมูลภายใน หมายถึง ข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในหน่วยงานเอง เช่น งบประมาณ การใช้จ่าย พัสดุคงคลัง ข้อมูลเหล่านี้สามารถเก็บบันทึกไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ได้ และข้อมูลภายนอก หมายถึง ข้อมูลที่เกิดขึ้นภายนอกหน่วยงาน เช่น ข้อมูลที่เกี่ยวกับภาวะเศรษฐกิจ การดำเนินงานของหน่วยงานอื่น ถ้าเป็นบริษัทข้อมูลภายนอกของบริษัทคือบริษัทคู่แข่ง

2) ฐานข้อมูล ศุภชัย จิวะรังสินี และ ขจรศักดิ์ สังเจริญ, (2550 : 1-27) อธิบายความหมายไว้ว่า ระบบฐานข้อมูล คือ กลุ่มข้อมูลที่เป็นข้อเท็จจริง ที่ถูกนำมาเก็บรวบรวมในที่เดียวกันอย่างเป็นระบบเพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งโดยกลุ่มผู้ใช้ตั้งแต่หนึ่งกลุ่มขึ้นไปข้อมูลเหล่านี้อาจเป็นข้อเท็จจริงที่เกี่ยวกับบุคคล สิ่งของ สถานที่ หรือเหตุการณ์ใด ๆ

3.1.2 ทฤษฎีการออกแบบเว็บไซต์ (Website Design)

การออกแบบโครงสร้างเว็บไซต์ คือ การวางแผนการจัดลำดับ เนื้อหาสาระของเว็บไซต์ ออกเป็นหมวดหมู่ เพื่อจัดทำเป็นโครงสร้างในการจัดวางหน้าเว็บเพจทั้งหมด มีจุดมุ่งหมายสำคัญคือ การที่จะทำให้ผู้เข้าเยี่ยมชม สามารถค้นหาข้อมูลในเว็บเพจได้อย่างเป็นระบบ แยกย่อยเนื้อหาออกเป็นส่วนต่างๆ ที่สัมพันธ์กันและให้อยู่ในมาตรฐานเดียวกัน จะช่วยให้น่าใช้งานและง่าย ต่อการเข้าอ่านเนื้อหาของผู้ใช้เว็บไซต์

หลักในการออกแบบโครงสร้างเว็บไซต์ ควรพิจารณาจากการกำหนดวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาจากเป้าหมายของการสร้างเว็บไซต์ จากนั้นศึกษากลุ่มเป้าหมายใดที่ต้องการสื่อสาร ว่าต้องการข้อมูลอะไร สุดท้ายจึงกลับมาวางแผนเกี่ยวกับการจัดรูปแบบโครงสร้างเนื้อหาสาระ การออกแบบเว็บไซต์ต้องมีการจัดโครงสร้างหรือจัดระเบียบข้อมูลที่ชัดเจน จัดหมวดหมู่ในเรื่องที่สัมพันธ์กัน รวมทั้งอาจมีการแสดงให้ผู้ใช้เห็นแผนที่โครงสร้างเพื่อป้องกันความสับสนได้

3.1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

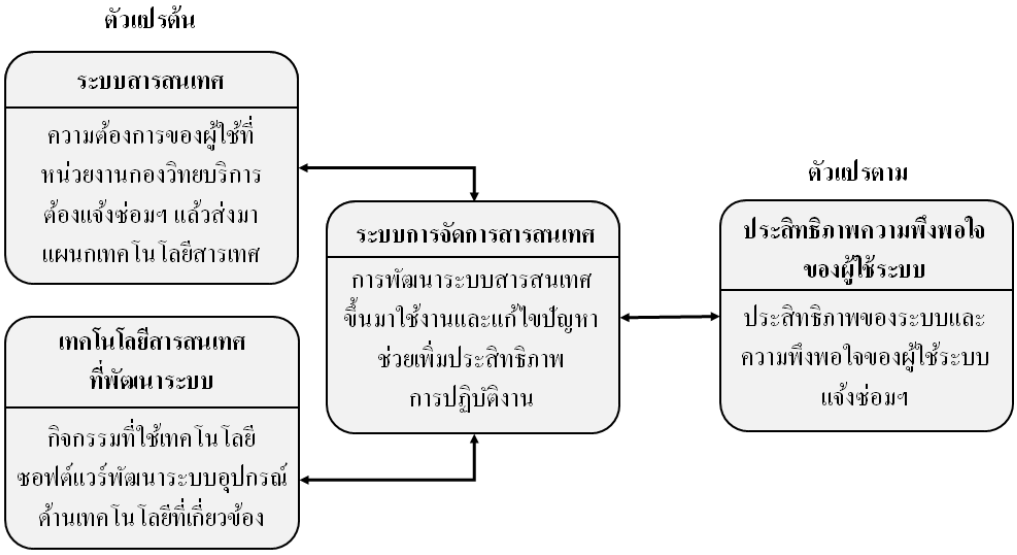
ฤาชา ชูบรรจง (2556) ได้ทำเว็บแอพพลิเคชั่นเพื่อแจ้งปัญหาคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงที่เกิดขึ้น ให้กับแผนกไอทีได้ทำการแก้ไขด้วยการสร้าง ระบบการแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์นี้ขึ้นมาโดยใช้โปรแกรมภาษาพีเอชพี (PHP) เป็นภาษาสคริปต์มาพัฒนาเว็บแอพพลิเคชั่นและใช้งานร่วมกับฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) ให้มีการทำงานประมวลผลแบบก้อนเมฆ (Cloud Computing) เพื่อให้พนักงานทุกคนในบริษัทที่มี 2 ไซต์งานสามารถแจ้งปัญหาออนไลน์ให้กับแผนกไอทีดำเนินการซ่อมได้สะดวกรวดเร็ว ในการแจ้งปัญหาอีกทั้งยังติดตามการดำเนินงานของแผนกไอที เก็บประวัติการซ่อมบำรุงและยังสามารถออกเป็นรายงานสรุปผลได้

ปรียา นาคนุ (2557) โครงงานนี้เป็นการพัฒนาระบบการจัดการการแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านระบบ Web Application ของบริษัท บีดีเอสเวอร์คอน จำกัด เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับพนักงานที่ต้องการ

แจ้งซ่อม และติดตามสถานะการซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ จากเดิมที่ใช้การดำเนินงานและจัดเก็บในระบบเอกสาร เป็นการใช้งานผ่านระบบ Web Application และการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลที่มีความปลอดภัย ทั้งยังสามารถสืบค้น เรียกดูประวัติการซ่องบำรุง เพื่อใช้อ้างและประกอบพิจารณาในการสั่งซื้ออุปกรณ์ใหม่ทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุดบ่อยครั้ง

มนัญญา ไชยทองศรี และปราโมทย์ กั่วเจริญ (2559) การพัฒนาระบบจัดการสารสนเทศซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์บนโทรศัพท์มือถือแอนดรอยด์ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์ เมื่อมีการร้องขอสำหรับการซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์ เจ้าหน้าที่รับเรื่องบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ของคอมพิวเตอร์ วันที่และเวลาที่แจ้งซ่อม ปัญหาและสาเหตุของเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าสู่ระบบบริหารจัดการซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์ ข้อมูลเหล่านี้จะปรากฏบนโทศัพท์มือถือของเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์ ซึ่งเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์สามารถเลือกรับงานซ่อมและสามารถเดินทางไปซ่อมบำรุงอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ของหน่วยงานที่ร้องขอ เจ้าหน้าที่สามารถทำการตอบรับระบบด้วยการแสดงตัวตนบนระบบเพื่อรับผิดชอบซ่อมเครื่องคอมพิวเตอร์ของหน่วยงานที่ร้องขอในระบบ และเจ้าหน้าที่ซ่อมสามารถปรับปรุงสถานภาพการทำงานจากเว็บไซต์ซ่อมบำรุงเครื่องคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางโทรศัพท์มือถือ และชิ้นส่วนอะไหล่ที่เกิดความเสียหายสามารถขอเพื่อจะส่งมอบ ณ สถานที่ซ่อม ดังนั้นทำให้สภาพแวดล้อมการทำงานที่มีประสิทธิภาพให้กับเจ้าหน้าที่ซ่อมและลดค่าใช้จ่ายการใช้โทรศัพท์มือถือเพื่อติดต่อเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงคอมพิวเตอร์ทั้งหมด

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตการศึกษา

ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ แบ่งผู้ใช้ระบบออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผู้ดูแลระบบ (Administrator) ช่างเทคนิค/ช่างซ่อม (Technician) และผู้ใช้ระบบ (User) มีสิทธิ์การใช้งานระบบ ดังนี้

4.1.1 ผู้ดูแลระบบ (Administrator)

1) แก้ไขและจัดการสิทธิ์การทำงานของผู้ใช้งานในระบบทั้งหมด

2) กำหนดประเภท/กลุ่มอุปกรณ์ในระบบแจ้งซ่อม

3) เรียกดูสถิติเครื่องที่ถูกแจ้งซ่อมในระบบ

4) เรียกดูรายงานในระบบ ได้ทุกรายงานโดยไม่จำกัดสิทธิ์การเข้าถึง

4.1.2 ช่างเทคนิคและช่างซ่อม (Technician)

1) สมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบ

2) บันทึกการแจ้งซ่อมโดยช่างซ่อมฯ ในระบบ

3) อัพเดทสถานะการซ่อมคอมพิวเตอร์ในระบบ ระบุการสำรองเครื่อง (ยืม) เมื่อมีสถานะรออะไหล่ และการบันทึกความรู้ในการแก้ไขปัญหาเพื่อเป็นข้อมูลใน KM

4) พิมพ์ใบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์

5) เรียกดูรายงานการซ่อมฯ ในภาพรวมระบบ และเฉพาะสิทธิ์ช่างเทคนิค

4.1.3 ผู้ใช้งานระบบ (Staff)

1) สมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบ

2) บันทึกการแจ้งซ่อมจากผู้ใช้งานในระบบ

3) พิมพ์ใบแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์

4) ตรวจสอบสถานะการซ่อมในระบบ เช่น รอรับรายการซ่อม, อยู่ระหว่างดำเนินการ, รออะไหล่, ดำเนินการเสร็จสิ้น หรือ ยกเลิกการซ่อม

5) ตรวจสอบลำดับคิวการแจ้งซ่อม และลำดับการรอคิว

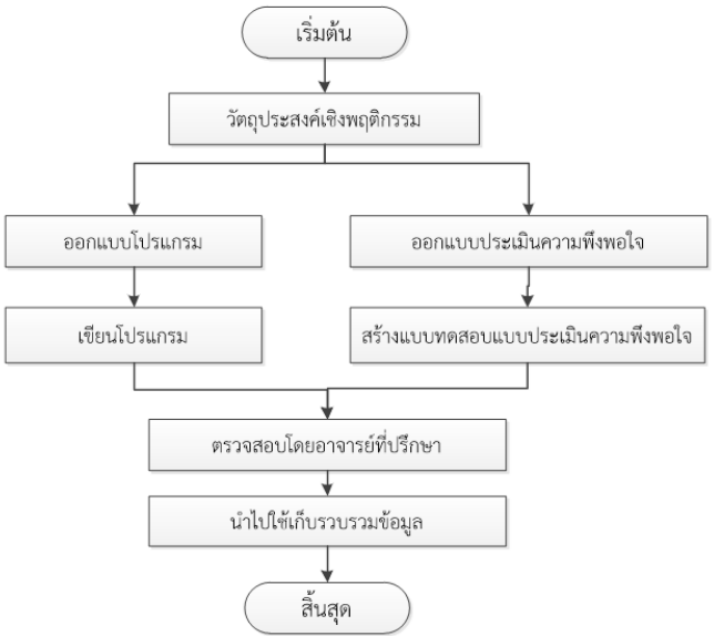
6) แบบประเมินความพึงพอใจในการใช้บริการ

7) เรียกดูรายงานการส่งซ่อมของผู้ใช้เอง และอาการเสียและวิธีแก้ปัญหาเบื้องต้น

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าราชการและพนักงานผู้ปฏิบัติงานในกองวิทยบริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ จำนวน 20 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย



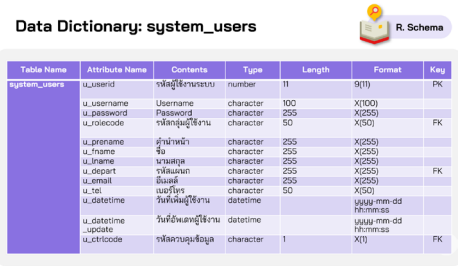
ภาพที่ 2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

1) หลังจากอนุมัติโครงการ ผู้จัดทำจึงเริ่มกำหนดวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม และปรับปรุงหัวเรื่องขอบเขตตามข้อเสนอแนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา

2) ออกแบบโปรแกรมตามขอบเขตที่ได้สำรวจความต้องการจากผู้ใช้งาน และพัฒนาโปรแกรม จากการสร้างฐานข้อมูล, เขียน Source code, ทดสอบการทำงานในแต่ละหน่วย (Unit test) ได้เป็นระบบงานที่สร้างแล้วเสร็จ

3) การสร้างและหาประสิทธิภาพของระบบแจ้งซ่อมฯ

4) ประเมินความเหมาะสมโดยผู้เชี่ยวชาญ หลังจากสร้างระบบแจ้งซ่อมฯ เสร็จสมบูรณ์

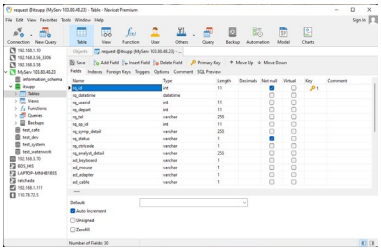


Data Dictionary: system_users

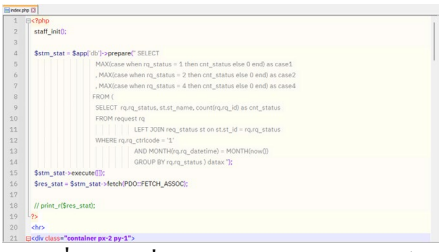
R. Schema

Table Name	Attribute Name	Contents	Type	Length	Format	Key
system_users	u_userid	รหัสผู้ใช้งานระบบ	number	11	9(11)	PK
	u_username	Username	character	100	X(100)	
	u_password	Password	character	255	X(255)	
	u_rolecode	รหัสกลุ่มผู้ใช้งาน	character	50	X(50)	FK
	u_prename	คำนำหน้า	character	255	X(255)	
	u_fname	ชื่อ	character	255	X(255)	
	u_lname	นามสกุล	character	255	X(255)	
	u_depart	รหัสแผนก	character	255	X(255)	FK
	u_email	อีเมลล์	character	255	X(255)	
	u_tel	เบอร์โทร	character	50	X(50)	
	u_datetime	วันที่เพิ่มผู้ใช้งาน	datetime		yyyy-mm-dd hh:mm:ss	
	u_datetime_update	วันที่อัพเดทผู้ใช้งาน	datetime		yyyy-mm-dd hh:mm:ss	
	u_ctrlcode	รหัสควบคุมข้อมูล	character	1	X(1)	FK

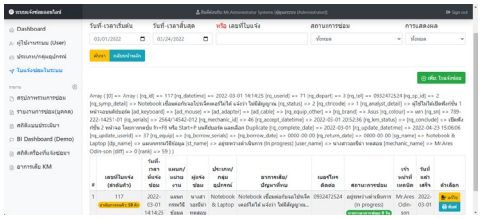
ภาพที่ 3 การออกแบบฐานข้อมูล



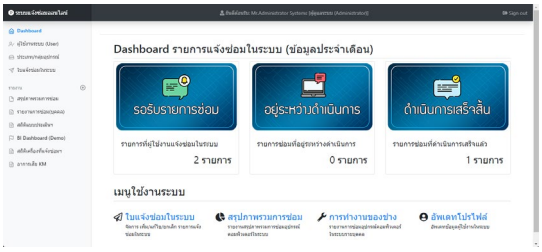
ภาพที่ 4 การสร้างฐานข้อมูล



ภาพที่ 5 การเพิ่ม Source Code ลงในฟอร์ม



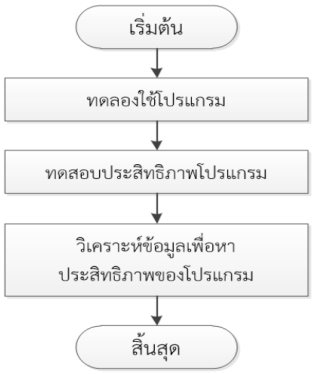
ภาพที่ 6 การทดสอบการทำงานในแต่ละหน่วย



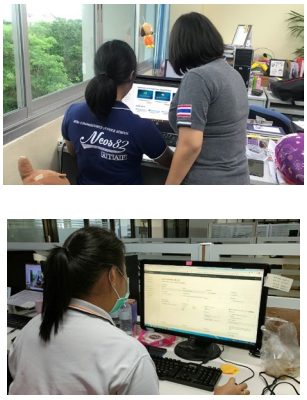
ภาพที่ 7 ระบบที่สร้างเสร็จแล้ว

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

โครงงานครั้งนี้ เลือกพนักงานผู้ปฏิบัติงานในกองวิทยบริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ เพื่อหาคำตอบของโครงการครั้งนี้โดยกำหนดเป็นขั้นตอนได้ดังนี้



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล



ภาพที่ 9 ทดลองและทดสอบประสิทธิภาพ

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) การวิเคราะห์คุณภาพของแบบประเมิน

$$\text{IOC} = \frac{\sum \boldsymbol{R}}{\mathbf{N}}$$

IOC คือ ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Congruency)

$\sum R$ คือ ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N คือ จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

2) การวิเคราะห์หาคุณภาพของระบบแจ้งซ่อมฯ ที่พัฒนาขึ้นโดยผู้ใช้งานระบบ

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{N}$$

$\bar{x}$ คือ คะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูล

3) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard Deviation)

$$\text{S.D} = \sqrt{\frac{\boldsymbol{n}\sum \boldsymbol{x}^2 - (\sum \boldsymbol{x})^2}{\boldsymbol{n}(\boldsymbol{n}-\mathbf{1})}}$$

S.D คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

$\sum \boldsymbol{x}^2$ คือ ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสอง

$(\sum \boldsymbol{x})^2$ คือ ผลรวมของคะแนนทั้งหมดยกกำลังสอง

n คือ จำนวนข้อมูลของกลุ่มตัวอย่าง

5. ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อการพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ จากนั้นทดลองใช้ระบบที่สร้างขึ้น เสร็จแล้วให้ตอบแบบสอบถามความพึงพอใจในการใช้ระบบฯ ได้สรุปผลของโครงงาน ดังนี้

1) การออกแบบ ศึกษาและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ ในการทดลองใช้งานเพื่อหาประสิทธิภาพของโปรแกรมจากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน พบว่า ผู้ประเมินต้องการให้มีฟังก์ชันการป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการบันทึกรายการ เช่น มีตัวช่วยในการพิมพ์เลขครุภัณฑ์ซึ่งในหน่วยงานมีฐานข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลครุภัณฑ์ไว้แล้ว และตัวช่วยการพิมพ์อาการเสีย/ปัญหาที่พบโดยใช้ประวัติการแจ้งซ่อมฯ ที่ผ่านมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานโปรแกรม, ต้องการให้ระบบมีปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้เพิ่มอย่างเช่น การแจ้งเตือนสถานะการซ่อมฯ ผ่านแอพพลิเคชัน LINE ทั้งยังให้ความเห็นว่าควรออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) ให้มีสีสันมากขึ้นและขนาดตัวอักษรใหญ่ขึ้น

2) ความพึงพอใจในการใช้ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ ที่พัฒนาขึ้นด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม พบว่า มีความพึงพอใจในความสามารถของโปรแกรม ส่วนการเข้าสู่ระบบอยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมามีความพึงพอใจในความสามารถของโปรแกรม ในส่วนข้อมูลผู้ใช้บริการ และส่วนการพิมพ์ใบแจ้งซ่อมฯ/รายงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

3) ความพึงพอใจในการใช้ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ ที่พัฒนาขึ้นด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันการทำงาน พบว่า มีความพึงพอใจในความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรมอยู่ในระดับมากที่สุด รองลงมามีความพึงพอใจในความครอบคลุมของโปรแกรมที่พัฒนากับการใช้งานจริง, ความถูกต้องในการจัดเก็บข้อมูลนำเข้า และความรวดเร็วในการประมวลผลของโปรแกรม มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

4) ความพึงพอใจในการใช้ระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ ที่พัฒนาขึ้นด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม พบว่า มีความพึงพอใจในความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพอยู่ในระดับมาก รองลงมามีความพึงพอใจในคำศัพท์ที่ใช้ผู้ใช้มีความคุ้นเคยและสามารถปฏิบัติตามได้โดยง่าย อยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประเมินผลการใช้โปรแกรมในภาพรวมทุกด้าน

ที่	รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
1	ด้านการตรงตามความต้องการของผู้ใช้โปรแกรม	4.44	0.75	มาก
2	ด้านการทำงานได้ตามฟังก์ชันการทำงาน	4.36	0.82	มาก
3	ด้านความง่ายต่อการใช้งานโปรแกรม	4.21	1.01	มาก
เฉลี่ย		4.34	0.86	มาก

6. อภิปรายผล

การออกแบบ ศึกษาและพัฒนาระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์ ในการทดลองใช้งานเพื่อหาประสิทธิภาพของโปรแกรมจากการตอบแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จากวิธีการทำงานเดิมที่เจ้าหน้าที่ต้องแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลการแจ้งซ่อมทั้งหมดจะถูกบันทึกลงในกระดาษ ซึ่งการจดบันทึกข้อมูลต่างๆ นี้อาจจะมีข้อผิดพลาด ทำให้เกิดปัญหาในการตรวจสอบข้อมูลการแจ้งซ่อม และเกิดการสูญหายของข้อมูล แผนกเทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งเป็นผู้ดำเนินการเรื่องดังกล่าวจึงมีความต้องการระบบที่สามารถแจ้งซ่อม จัดเก็บข้อมูล และติดตามสถานะการซ่อมได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ ฤาชา ชูบรรจง (2556) ได้ทำเว็บแอพพลิเคชั่นเพื่อแจ้งปัญหาคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงให้กับแผนกไอที ได้ทำการแก้ไขด้วยการสร้างระบบการแจ้งซ่อมคอมพิวเตอร์นี้ขึ้นมา และยังสอดคล้องกับ ปรียา นาคนุ (2557) โครงงานนี้เป็นการพัฒนาระบบการจัดการการแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ผ่านระบบ Web Application ของบริษัท บีดีเอสเวอร์คอน จำกัด เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับพนักงานที่ต้องการแจ้งซ่อม และติดตามสถานะการซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์เป็นการใช้งานผ่านระบบ Web Application และการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลที่มีความปลอดภัย ทั้งยังสามารถสืบค้น เรียกดูประวัติการซ่องบำรุง เพื่อใช้อ้างและประกอบพิจารณาในการสั่งซื้ออุปกรณ์ใหม่ทดแทนอุปกรณ์ที่ชำรุดบ่อยครั้ง และจากผลการทดลองใช้ การประเมิน และการปรับปรุง พบว่า ระบบที่ได้มีความถูกต้องของ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรม และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ที่มีข้อความในแบบฟอร์มอธิบายความเข้าใจง่าย ทำให้ระบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ได้ตั้งไว้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1) ระบบได้วางบทบาทให้มีประเภทผู้ใช้งาน 3 ระดับคือผู้ดูแลระบบที่สามารถเข้าถึงและจัดการข้อมูลหรือรายงานได้ทุกระดับ ต่อมาคือเจ้าหน้าที่ผู้รับซ่อมที่สามารถรับรายการซ่อม และบันทึกผลการทำงานได้เฉพาะงานซ่อมที่ตนเองรับผิดชอบ สุดท้ายคือผู้แจ้งซ่อมที่แจ้งซ่อมเข้ามาและติดตามสถานะการซ่อมได้ผ่านระบบออนไลน์

2) ผู้แจ้งซ่อมจากหน่วยงานต่างๆ สามารถสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานระบบได้ จึงมีความจำเป็นต้องระบุข้อมูลส่วนบุคคลที่ถูกต้องครบถ้วน เพื่อให้สามาถรับแจ้งเตือนได้สถานะการซ่อมได้ ควรปฏิบัติตามข้อแนะนำที่มีในคู่มือการใช้งาน

3) เจ้าหน้าที่ผู้รับซ่อมจะต้องมี Log in เพื่อเข้าใช้งาน เนื่องจากระบบจัดเก็บภาระงานมารายงานผลสรุปการซ่อมฯ และในการรับงานซ่อมเจ้าหน้าที่ควรระบุลักษณะอุปกรณ์ อาการเสีย และวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นให้ครบถ้วน และอัพเดทสถานะการซ่อมให้เป็นปัจจุบัน

4) การเริ่มพัฒนาโปรแกรมควรประสานงานกับเจ้าหน้าที่ IT เพื่อศึกษาขั้นตอนการทำงานเดิมก่อน จากนั้นจึงวางแผน Mock up โปรแกรมกลับไปปรึกษาและยืนยันขั้นตอน เริ่มเขียนโปรแกรมเพื่อป้องกันความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม และการแสดงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ด้านการพัฒนาโปรแกรมควรเพิ่มฟังก์ชันตัวช่วยในการพิมพ์เลขครุภัณฑ์โดยเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลในหน่วยงาน, ตัวช่วยการพิมพ์อาการเสีย/ปัญหาที่พบโดยใช้ข้อมูลจากประวัติการแจ้งซ่อมฯ เพื่อป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการบันทึกรายการ

2) ส่วนของฟังก์ชันเพิ่มเติมควรมีการแจ้งเตือนสถานะการซ่อมฯ ผ่านแอพพลิเคชัน LINE รวมถึงเพิ่มการแนบรูปภาพ หรือภาพถ่ายในการแจ้งซ่อมเข้ามาในระบบได้

3) ในด้านความต้องการของผู้บริหารควรเพิ่มการบันทึกค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในงานซ่อมแต่ละครั้งเพื่อประเมินต้นทุน ความคุ้มค่าในการซ่อม หรือเพื่อพิจารณาจำหน่ายครุภัณฑ์ออกจากหน่วยงาน

8. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการจัดทำโครงงานครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ของโครงงาน เนื่องจากการสนับสนุน และความร่วมมือหลายฝ่าย ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษาของโครงงาน, ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินคุณภาพแบบสอบถาม และเจ้าหน้าที่และพนักงานในกองวิทยบริการ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ ผู้ให้ความรู้ในขั้นตอนการทำงานของระบบ ตลอดจนเป็นผู้ร่วมทดสอบการใช้งานระบบแจ้งซ่อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ออนไลน์และตอบแบบสอบถาม

9. เอกสารอ้างอิง

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล. (2550). *ระบบฐานข้อมูล*. กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

ธวัชชัย งามสันติวงศ์. (2549). *การวิเคราะห์และออกแบบเชิงวัตถุ*. กรุงเทพฯ : 21 เซ็นจูรี.

บริษัท เรดดี้แพลนเน็ต จำกัด. (2564). *5 องค์ประกอบของเว็บไซต์ที่ดี* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 2 ตุลาคม 2564, จาก: https://manual-velaclassic-th.readyplanet.com.

รัชนี กัลยาวินัย และอัจฉรา ธารอุไรกุลม. (2542). *การวิเคราะห์และออกแบบระบบคอมพิวเตอร์สมัยใหม่*. กรุงเทพฯ : การศึกษา.

ศุภชัย จิวะรังสินี และขจรศักดิ์ สังเจริญ. (2551). *คู่มือเขียนโปรแกรมสำหรับระบบฐานข้อมูล Oracle 11g*. กรุงเทพฯ: บริษัท เทรนลิสต์ จำกัด.

การศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียมในการผลิตซีอิ๊วจากเห็ดฟาง

STUDY OF SODIUM REDUCTION PROCESS IN STRAW MUSHROOM SOY SAUCE PRODUCTION

ปาริชาติ อยู่แพทย์

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

E-mail: vanilla.somza@gmail.com

วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

E-mail: pwimonwan@hotmail.com

สุรีย์รัตน์ รักเหลือ

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

E-mail: sureerat.doa@gmail.com

บทคัดย่อ

ซีอิ๊วเป็นเครื่องปรุงที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคอย่างมาก มีวัตถุดิบหลัก คือ ถั่วเหลืองซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูง สำหรับการผลิตซีอิ๊วประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือ การผลิตโคจิและการหมักในน้ำเกลือ โดยทั่วไปซีอิ๊วจะมีปริมาณโซเดียมระหว่างร้อยละ 17-23 ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงและส่งผลต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตซีอิ๊วโดยใช้เห็ดฟางระยะดอกบานซึ่งเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนสูงทดแทนการใช้ถั่วเหลืองและศึกษาวิธีการลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊ว 2 วิธี ได้แก่ วิธีการตกผลึกและวิธีใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม ผลการทดลอง พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเห็ดฟางอบแห้ง:ถั่วเหลือง:แป้งข้าวเจ้า คือ 40:30:30 นำไปหมักในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นระยะเวลา 6 เดือน ได้ซีอิ๊วที่มีปริมาณโซเดียมร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบวิธีการลดปริมาณโซเดียมในซีอิ๊วจากเห็ดฟาง พบว่า ซีอิ๊วที่เติมกลิ่นซอสถั่วเหลืองร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มการรับรู้รสเค็มของผู้บริโภคได้และส่งผลให้ลดปริมาณโซเดียมได้มากกว่าวิธีตกผลึกโดยระดับความชอบรสเค็มของผู้บริโภคทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยซีอิ๊วที่ใช้กลิ่นซอสถั่วเหลืองเสริมรสเค็มมีปริมาณโซเดียมคงเหลือร้อยละ 11.85 โดยน้ำหนัก มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.05 ปริมาณกรดแอสพาร์ติกและกรดกลูตามิกเท่ากับ 593.6 มิลลิกรัม/100 กรัม และ1067.8 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ขณะที่ซีออิ๊วที่ใช้วิธีตกผลึกมีปริมาณโซเดียมคงเหลือร้อยละ 14.50 โดยน้ำหนัก มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 12.48 มีกรดแอสพาร์ติก และกรดกลูตามิกเท่ากับ 967.8 มิลลิกรัม/100 กรัม และ1433.2 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ผู้ทดสอบร้อยละ 80.14 ยอมรับผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วจากเห็ดฟางสูตรลดโซเดียมที่ใช้กลิ่นซอสถั่วเหลืองเสริมรสเค็ม

คำสำคัญ: ซีอิ๊วจากเห็ดฟาง เห็ดฟาง ลดโซเดียม

ABSTRACT

Soy sauce is a popular worldwide condiment. It is produced from the fermentation of soybeans which are a high protein plant. The process of making soy sauce consists of two major steps, koji-making and brine fermentation. Additionally, most soy sauces in the market are high in sodium, or rather, 17-23%, which can lead to health risks associated with high sodium consumption. Therefore, the purpose of this study was to develop a process of producing a low sodium soy sauce using a mature stage of straw mushrooms to replace traditional high sodium soy sauces. The process for sodium reduction in straw mushroom soy sauces were the crystallization method and flavor enhancers. The test results showed the optimal ratio of dried straw mushroom: soybeans: rice flour for making mushroom soy sauce was 40:30:30. After finishing the brine fermentation process for 6 months, it contained 18% of NaCl. In addition, 1.5% of soy sauce flavour enhancer was added and proved to be a more effective way for reducing the sodium content in the mushroom soy sauce. This level of flavour enhancement induced an enhancement of an odor of saltiness reported by consumers ($p > 0.05$). The reduced-sodium mushroom soy sauce using flavor enhancer contained 11.85% of NaCl, 9.05% of protein, 593.6 mg/100g. of Aspartic acid, 1067.8 mg/100g. of Glutamic acid whereas the sauce using the crystallization method consisted of 14.50% of NaCl, 12.48% of protein, 967.8 mg/100g. of Aspartic acid, 1433.2 mg/100g. of Glutamic acid. 80.14% of consumers preferred the reduce-sodium mushroom soy sauce.

Keywords: Straw Mushroom Soy Sauce, Straw Mushroom, Sodium Reduction

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ซีอิ๊วจัดเป็นเครื่องปรุงที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภค มีรสชาติหลักคือเค็ม มีกลิ่นและรสเฉพาะตัวซึ่งทำให้ผู้บริโภคมีความพึงพอใจ วัตถุดิบและกรรมวิธีการหมักที่ต่างกันส่งผลให้กลิ่นรสของซีอิ๊วที่ได้มีความแตกต่างกัน โดยปกติถั่วเหลืองจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต การใช้พืชอื่นๆ มาเป็นวัตถุดิบมีรายงาน เช่น เพ็ญประภา สุวรรณะ (2551) ศึกษาการหมักซีอิ๊วจากถั่วมะแฮะและถั่วเหลือง พบว่า คุณสมบัติของโมโมริน้ำและน้ำซีอิ๊วที่ได้ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม สำหรับวัตถุดิบที่มีความน่าสนใจในการนำมาผลิตซีอิ๊วอีกประเภทหนึ่งคือเห็ดฟาง เนื่องจากมีปริมาณการผลิตสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 80 ของผลผลิตเห็ดทั้งหมดของประเทศ สามารถผลิตได้ตลอดทั้งปี โดยปริมาณผลผลิตจะสูงในช่วงฤดูร้อน ส่งผลให้ราคาตกต่ำ นอกจากนี้เห็ดฟางยังเน่าเสียง่ายกว่าผลผลิตทางการเกษตรอื่นๆ โดยมีระยะเวลาเก็บรักษาสั้นเพียง 1 - 2 วัน และตลาดจะให้ราคาเห็ดฟางสูงเมื่อดอกตูมและราคาจะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่งเมื่อดอกบาน ดังนั้นการแปรรูปเห็ดฟางจึงเป็นการเพิ่มการใช้ประโยชน์ให้มีความหลากหลายมากขึ้นเพื่อสร้างมูลค่าให้แก่เห็ดฟาง

เห็ดฟางเป็นเห็ดที่มีรสชาติดี โดยรสชาติที่เด่นชัด คือ รสอูมามิซึ่งเป็นรสชาติของกลูตาเมตอิสระ หนึ่งในกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนและยังพบในเครื่องปรุงรสต่างๆ มีการศึกษาปริมาณกรดกลูตามิกในเห็ดชนิดต่างๆ พบว่า เห็ดฟางมีปริมาณกรดกลูตามิกสูงถึง 429 มิลลิกรัมต่อ100 กรัมน้ำหนักแห้ง ซึ่งสูงกว่าเห็ดทุกชนิดที่ผลิตได้ในประเทศไทยและที่ระยะการเจริญเติบโตเต็มที่สารนี้จะเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเกือบ 3 เท่าของระยะเริ่มต้น (Fumio *et al*., 2015) ในการผลิตซีอิ๊วควรพัฒนาให้มีการลดปริมาณโซเดียมเพื่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยพบว่าประชากรไทยได้รับโซเดียมสูงถึง 4,352 มิลลิกรัมต่อวัน คิดเป็น 2 เท่าของปริมาณสูงสุดของโซเดียมที่

รับได้จากข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก แหล่งที่มาของโซเดียมส่วนใหญ่ (ร้อยละ 71) มาจากการใช้เครื่องปรุงรส (วิชัย เอกพลากร, 2563) สำหรับเทคนิคที่ใช้ในการลดปริมาณโซเดียมปัจจุบันจะเป็นการทดแทนด้วยเกลือโพแทสเซียม ซึ่งจัดได้ว่าเป็นเกลือที่มีความอันตรายใกล้เคียงกับโซเดียมและไม่เหมาะแก่ผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูงและโรคไตเช่นกัน ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคการลดโซเดียมในอาหาร โดยใช้วิธีการทางกายภาพ เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบกรรมวิธีการลดโซเดียมในซีอิ๊วจากเห็ดฟางทั้งวิธีทางกายภาพ ได้แก่ วิธีการตกผลึกและวิธีทางคุณภาพทางประสาทสัมผัส ได้แก่ วิธีการใช้กลิ่นเสริมรสเค็มเพื่อลดปริมาณโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วจากเห็ดฟางเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วลดโซเดียมจากเห็ดฟางสำหรับเป็นทางเลือกแก่ผู้บริโภคและสร้างมูลค่าให้แก่เห็ดฟางซึ่งเป็นอาชีพหลักในหลายพื้นที่ของประเทศไทยให้สามารถพัฒนาไปสู่การเป็นพืชอุตสาหกรรมที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วจากเห็ดฟาง

2) เพื่อศึกษากระบวนการลดโซเดียมที่เหมาะสมในการผลิตซีอิ๊วจากเห็ดฟาง

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) ลักษณะทั่วไปของเห็ดฟาง

เห็ดฟาง (Straw mushroom) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Volvariella volvacea* (Bull.ExFr.) Sing. วงศ์ Pluteaceae ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ผลิตเป็นการค้าเพื่อจำหน่ายเป็นผลิตผลสด โดยสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2558) ได้กำหนดระยะของเห็ดฟางในทางการค้าออกเป็น 3 ระยะดังนี้

1. ดอกตูม (closed cap) หมายถึง เห็ดฟางที่อยู่ในระยะรูปทรงกระดุมและระยะรูปทรงไข่
2. ดอกปริ (elongation) หมายถึง เห็ดดอกตูมที่อยู่ในระยะยืดตัวและเยื่อหุ้มหมวกดอกแตก
3. ดอกบาน (opened cap) หมายถึง เห็ดฟางที่อยู่ในระยะที่หมวกเห็ดโผล่พ้นเยื่อหุ้มดอกเห็ดจนถึงระยะเจริญเต็มที่

2) สารสำคัญที่ให้รสอูมามิในเห็ดฟาง

Libin *et al*. (2019) ได้รายงานว่า เห็ดฟางนอกจากจะอุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการแล้วยังเป็นแหล่งอาหารที่มีรสชาติดี โดยรสชาติที่เด่นชัด คือ รสอูมามิซึ่งเป็นรสชาติของกลูตาเมตอิสระ หนึ่งในกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน พบได้ในอาหารตามธรรมชาติหลากหลายชนิด เช่น เห็ด สาหร่าย เนื้อสัตว์ ถั่วลันเตา และเครื่องปรุงรสต่างๆ สารสำคัญที่ให้รสอูมามิ คือ กลูตาเมต ไอโนซิเนต และกัวไนเลต กลูตาเมตเป็นกรดอะมิโนที่มีอยู่มากมายในธรรมชาติ ส่วนนิวคลีโอไทด์ที่ให้รสอูมามิมากที่สุดอย่าง ไอโนซิเนต และกัวไนเลตก็พบได้ในอาหารหลายชนิด Fumio *et al*. (2015)ได้ศึกษาสารสำคัญที่ให้รสอูมามิในเห็ดฟางที่ระยะการเก็บเกี่ยวต่าง ๆ 5 ระยะ ได้แก่ ระยะกระดุมเล็ก ระยะรูปทรงกระดุม ระยะดอกตูมรูปทรงไข่ ระยะยืดตัวและระยะดอกบาน พบว่า ที่ระยะการเก็บเกี่ยว 3 ระยะแรก คือ ระยะกระดุมเล็ก ระยะรูปทรงกระดุม และระยะดอกตูมรูปทรงไข่ ไม่มีความแตกต่างกันของสารสำคัญที่ให้รสอูมามิ แต่ที่ระยะการเก็บเกี่ยวที่ 5 หรือระยะดอกบาน สารสำคัญที่ให้รสอูมามิในเห็ดฟางเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเกือบ 3 เท่าของระยะเริ่มต้น

3) วิธีการลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊ว

กุมุทนาถ ปานหอ และคณะ (2546) ศึกษาการลดความเค็มของซีอิ๊วด้วยการไดอะไลซิส อัลตราฟิวเตรชัน และการตกผลึก พบว่า ทั้ง 3 วิธีสามารถลดเกลือได้เหลือร้อยละ 14.62, 22.38 และ18.38 ตามลำดับ ผลการศึกษาทั้งสามวิธี วิธีตกผลึกเป็นแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ดีที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดและไม่ยุ่งยาก Chokumnoyporn *et al*. (2015) ศึกษาการใช้กลิ่นซอสถั่วเหลืองในการเสริมการรับรสเค็ม พบว่า กลิ่นซอสถั่วเหลืองที่ระดับ 28.45 ppb สามารถช่วยทำให้ผู้บริโภคเริ่มรับรู้รสเค็มได้และที่ระดับ 122.71 ppb สามารถเพิ่มรสเค็มให้แก่อาหารได้ ดังนั้นเทคนิคการเพิ่มการรับรู้รสเค็มด้วยการเติมกลิ่นรสสามารถช่วยเพิ่มการรับรู้รสเค็มในอาหารให้แก่ผู้บริโภคได้

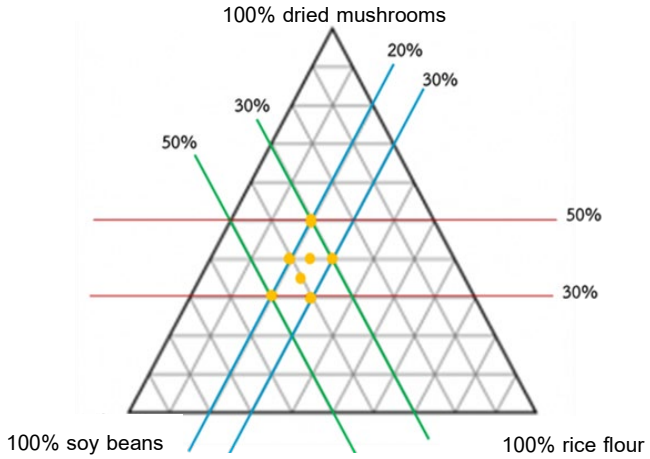
4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมเห็ดฟางอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบลมร้อน

นำเห็ดฟางดอกบานมาล้างทำความสะอาดและอบที่อุณหภูมิ 60°C 8 ชั่วโมง ศึกษาปริมาณร้อยละผลผลิต ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ โปรตีนร้อยละ กรดกลูตามิกและกรดแอสพาร์ติก ทำ 3 ซ้ำการทดลอง

4.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเห็ดฟางอบแห้ง ถั่วเหลือง และแป้งข้าวเจ้าในการผลิตซอส

1) ศึกษาส่วนประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ เห็ดฟางอบแห้งในระดับร้อยละ 30-50 ถั่วเหลืองร้อยละ และแป้งข้าวเจ้าในระดับร้อยละ 20-30 โดยวางแผนการทดลองแบบผสม (Mixture design) ได้สูตรการผลิตซีอิ๊วจากเห็ดฟาง 7 กรรมวิธี ตามแผนภาพ Tri-linear coordinate system (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 Trilinear coordinate system

ที่มา: อนุวัตร, 2549

2) นำสิ่งทดลองที่ได้จากการวางแผนการทดลองผลิตซีอิ๊ว ดังนี้ ผสมเห็ดฟางอบแห้ง ถั่วเหลืองและแป้งข้าวเจ้า เติมเชื้อรา *Aspergillus oryzae* บ่มที่อุณหภูมิ 32-35°C 7 วัน ได้โคจิที่มีสปอร์สีเขียวแกมเหลืองคลุมทั่ววัตถุดิบ นำไปหมักในน้ำเกลือความเข้มข้น 20% (w/v) 6 เดือน ได้ซีอิ๊ว ศึกษาค่าคุณภาพ ได้แก่ ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ ค่า pH ประเมินความชอบด้วยวิธี Hedonic scaling test 9 points และทดสอบความพอดีด้วยวิธี Just about right โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน คัดเลือกกรรมวิธีการผลิตซีอิ๊วที่ผู้ทดสอบชอบมากที่สุด วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกไม่สมบูรณ์ ค่า t=8, k=4, b=14, r=7, λ=3

โดย t หมายถึง จำนวนสิ่งทดลองที่ต้องการทดสอบ

k หมายถึง จำนวนสิ่งทดลองในแต่ละบล็อก

b หมายถึง จำนวนบล็อก

r หมายถึง จำนวนซ้ำของสิ่งทดลอง

λ หมายถึง จำนวนครั้งในการปรากฏร่วมกันของคู่สิ่งทดลอง

ทำการทดลอง 4 รอบ เพื่อให้มีจำนวนซ้ำในแต่ละสิ่งทดลองเท่ากับ 28 ซ้ำ ดังนั้นใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 56 คน ทดสอบความชอบในคุณลักษณะต่าง ๆ นำข้อมูลมาประเมินความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อคัดเลือกสิ่งทดลองที่ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุด (อนุวัตร แจ้งชัด, 2549)

4.3 ศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วจากเห็ดฟาง

เปรียบเทียบกรรมวิธีการลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊ว 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีการตกผลึก (ดัดแปลงจากกุมุทนาถ ปานหอและคณะ, 2546) นำซีอิ๊วที่ได้จากการพัฒนาในข้อ 4.2 ปริมาตร 600 มิลลิลิตร ไปให้ความร้อนจนมีปริมาตรเหลือประมาณ 420 มิลลิลิตร จากนั้นวางไว้ที่อุณหภูมิ 4°C ชั่งน้ำหนักของผลึกเกลือทุก 2 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักผลึกคงที่ นำน้ำซอสมาปรับปริมาตรให้ได้ 600 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำไปวัดค่าคุณภาพ

2) วิธีการใช้กลิ่นช่วยเสริมรสเค็ม (Meilgaard *et al*., 2006) นำซีอิ๊วที่ได้จากการพัฒนาในข้อ 4.2 มาเติมน้ำกลั่นอัตราส่วนระหว่างซีอิ๊วเห็ดฟาง : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 3 จากนั้นศึกษาระดับกลิ่นซอสถั่วเหลืองที่เหมาะสม 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 9 คน ซึ่งผ่านการฝึกฝนสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา ประเมินความเข้มของรสเค็มและรสอูมามิของตัวอย่าง ทดสอบตัวอย่างละ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบหลายตัวแปร (Multivariate Analysis of Variance: MANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 ผลที่ได้ทำให้สามารถกำหนดปริมาณกลิ่นซอสถั่วเหลืองที่ช่วยให้การรับรู้รสเค็มของผู้บริโภคเพิ่มขึ้นและนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตซีอิ๊วสูตรลดโซเดียม

นำซอสทั้งสองกรรมวิธีมาวัดค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ โปรตีน กรดอะมิโน เกลือโซเดียมคลอไรด์ ค่า pH ทำ 3 ซ้ำการทดลอง นำข้อมูลมาประเมินความแตกต่างโดยวิเคราะห์ t-test : Independent two sample t-test ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคของทั้ง 2 สูตรเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมและสูตรทางการค้า นำข้อมูลมาประเมินความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของสิ่งทดลองด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (อนุวัตร แจ้งชัด, 2549)

5. ผลการวิจัย

5.1 การเตรียมเห็ดฟางอบแห้งโดยใช้การอบแห้งแบบลมร้อน

เห็ดฟางอบแห้งที่ได้มีร้อยละผลผลิต เท่ากับ 8.52 ความชื้นร้อยละ 3.40 ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.39 โปรตีนร้อยละ 33.10 กรดกลูตามิกและกรดแอสพาร์ติก เท่ากับ 6,974 และ2,865 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากค่าคุณภาพดังกล่าวจะเห็นว่าเห็ดฟางอบแห้งเป็นแหล่งที่ดีในการนำมาหมักซีอิ๊วเนื่องจากเนื่องจากมีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระต่ำ อีกทั้งมีปริมาณกรดกลูตามิกและกรดแอสพาร์ติกสูง

5.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเห็ดฟางอบแห้ง ถั่วเหลือง และแป้งข้าวเจ้าในการผลิตซอส ศึกษาค่าคุณภาพของสิ่งทดลองเพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม (ตารางที่ 1) มีรายละเอียด ดังนี้

1) ค่าสี พบว่า ซีอิ๊วทั้ง 7 สิ่งทดลองมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยสูตรควบคุม (ถั่วเหลือง ร้อยละ 100) มีความสว่าง มากที่สุด (L*=32.44) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 5 6 และ7 โดยมีค่าเท่ากับ 29.67 29.81 และ29.70 ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ 1 2 3 และ 4 มีค่าความสว่างน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสีเขียว-แดง (a*) พบว่า สูตรควบคุมและกรรมวิธีที่ 5 6 และ7 มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 5.68 5.46 5.51 และ5.43 ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ 1 2 3 และ4 มีค่าน้อยกว่า เมื่อพิจารณาค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) พบว่า สูตรควบคุมมีค่ามากที่สุด (-2.23) รองลงมาคือ กรรมวิธีที่ 5 6 และ7 โดยมีค่าเท่ากับ -5.10 -4.98 และ-4.67 ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีที่ 1 2 3 และ4 มีค่าน้อยกว่า เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนของแต่ละกรรมวิธี พบว่า หากปริมาณเห็ดฟางเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าสีเขียว-แดง และค่าสีน้ำเงิน-เหลืองของซีอิ๊วมีค่าลดลง

2) ปริมาณน้ำอิสระ พบว่า ซีอิ๊วทั้ง 7 กรรมวิธีและสูตรควบคุม (ถั่วเหลือง 100%) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.80-0.82 ซึ่งปริมาณดังกล่าวจะไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* แต่สามารถเกิดเชื้อราและเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้

3) ค่า pH พบว่า ซีอิ๊วทั้ง 7 กรรมวิธีและสูตรควบคุม (ถั่วเหลือง 100%) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.00-5.23 ซึ่งเป็นค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำซีอิ๊วที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ต้องมีค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 4.5-6.0

ตารางที่ 1 ค่าคุณภาพของซีอิ๊วจากเห็ดฟางทั้ง 7 กรรมวิธีและซอสจากถั่วเหลือง 100% (สูตรควบคุม)

กรรมวิธี	อัตราส่วน			ค่าสี			ปริมาณน้ำอิสระ	ค่า pH
	เห็ดฟางอบแห้ง	: ถั่วเหลือง	: แป้งข้าวเจ้า	L*	a*	b*		
1	50	30	20	27.82^{c}	4.35^{b}	-6.52^{c}	0.80^{a}	5.61^{a}
2	40	30	30	27.94^{c}	4.44^{b}	-6.48^{c}	0.81^{a}	5.60^{a}
3	30	40	30	28.10^{c}	4.10^{c}	-6.45^{c}	0.80^{a}	5.63^{a}
4	30	50	20	28.22^{c}	4.27^{bc}	-6.26^{c}	0.80^{a}	5.60^{a}
5	40	40	20	29.67^{b}	5.46^{a}	-5.10^{b}	0.82^{a}	5.61^{a}
6	40	35	25	29.81^{b}	5.51^{a}	-4.98^{b}	0.80^{a}	5.60^{a}
7	35	40	25	29.70^{b}	5.43^{a}	-4.67^{b}	0.80^{a}	5.60^{a}
สูตรควบคุม	-	75	25	32.44^{a}	5.68^{a}	-2.23^{a}	0.80^{a}	5.62^{a}

หมายเหตุ $^{a-c}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4) ประเมินคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส พบว่า ความชอบโดยรวม กลิ่นรสซอสและรสเค็ม ผู้ทดสอบชอบทั้ง 7 สิ่งทดลองและสูตรควบคุมไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ขณะที่ความเข้มสีผู้ทดสอบชอบสูตรควบคุมน้อยที่สุด จากคะแนนความชอบที่ได้ พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 ได้คะแนนความชอบมากกว่าสิ่งทดลองอื่นโดยได้คะแนนความเข้มของสี กลิ่นรสซอส รสเค็ม และความชอบโดยรวม เท่ากับ 6.04, 5.21, 4.65 และ5.48 ตามลำดับ เมื่อประเมินความพอดีในแต่ละคุณลักษณะ พบว่า ทั้ง 7 สิ่งทดลองและสูตรควบคุมต้องปรับลดรสเค็มและกลิ่นรส

ซอสฉุนมากเกินไป เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วน พบว่า การเพิ่มเห็ดฟางส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวม สี และกลิ่นรสเพิ่มมากขึ้น ขณะที่การเพิ่มถั่วเหลืองส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวม สี และกลิ่นรสมีคะแนนลดลง

ดังนั้น สิ่งทดลองที่ 2 จึงมีความเหมาะสมในการนำผลิตซีอิ๊วจากเห็ดฟาง โดยมีอัตราส่วนระหว่างเห็ดฟาง : ถั่วเหลือง : แป้งข้าวเจ้า คือ 40:30:30

5.3 ศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วจากเห็ดฟาง

ศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียม พบว่า เมื่อหมักซีอิ๊วไว้เป็นเวลา 6 เดือน ซีอิ๊วมีปริมาณโซเดียมลดลงเล็กน้อย โดยมีโซเดียมเหลือร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำซีอิ๊วที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเกลือ (คำนวณเป็นโซเดียมคลอไรด์) ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก นำสิ่งทดลองไปศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียมด้วยวิธีการตกผลึกและวิธีใช้กลิ่นเสริมรสเค็มได้ผลการทดลองดังนี้ (ตารางที่ 2)

1) วิธีการตกผลึก พบว่า สามารถตกผลึกเกลือได้ทั้งสิ้น 66.28 กรัม มีปริมาณโซเดียมคงเหลือร้อยละ 14.50 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าสูตรควบคุมคิดเป็นร้อยละ 19.44 วัดค่าสีของตัวอย่างซีอิ๊ว พบว่า ซีอิ๊วมีสีน้ำตาลเข้ม โดยมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว-แดง (a*) ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) เท่ากับ 29.62, 4.03, -6.68 ตามลำดับ มีปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.83 มีค่า pH เท่ากับ 5.21 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 12.48 มีกรดแอสพาร์-ติกและกรดกลูตามิก เท่ากับ 967.8 และ1,433.2 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ

2) วิธีใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม พบว่า กลิ่นซอสถั่วเหลืองสามารถเพิ่มระดับการรับรู้รสเค็มของผู้บริโภคได้ ($p \leq 0.05$) โดยการเพิ่มกลิ่นซอสถั่วเหลืองร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ2.0 จะส่งผลให้ระดับการรับรู้รสเค็มเพิ่มขึ้นเท่ากับ 9.91, 9.97, 10.42, 10.79 และ10.98 ตามลำดับ โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ระดับการรับรู้รสเค็มของผู้ทดสอบเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างที่ไม่เติมกลิ่นซอสถั่วเหลือง ($p \leq 0.05$) โดยเพิ่มจาก 9.91 เป็น 10.79 และมีรสอูมามิเท่ากับ 3.41 แต่ระดับการรับรู้รสเค็มดังกล่าวน้อยกว่าซีอิ๊วจากเห็ดฟางสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) โดยสูตรควบคุมมีระดับรสเค็มเท่ากับ 11.04 ขณะที่รสอูมามิไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.40 ขณะที่สูตรทางการค้ามีระดับรสเค็มเท่ากับ 11.21 และรสอูมามิเท่ากับ 4.08 ซึ่งมากกว่าซีอิ๊วจากเห็ดฟางสูตรลดโซเดียมและสูตรควบคุม ($p \leq 0.05$) โดยซีอิ๊วที่ใช้กลิ่นเสริมรสเค็มมีปริมาณโซเดียมคงเหลือร้อยละ 11.85 โดยน้ำหนัก ซึ่งต่ำกว่าสูตรควบคุมและสูตรที่ใช้วิธีตกผลึกร้อยละ 34.16 และ 18.27 ตามลำดับ เมื่อศึกษาค่าคุณภาพด้านสี พบว่า ซีอิ๊วมีสีน้ำตาลอ่อน โดยมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีเขียว-แดง (a*) และสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) เท่ากับ เท่ากับ 36.41, 3.92 และ 1.08 ตามลำดับ มีค่า pH เท่ากับ 5.70 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.05 ปริมาณกรดแอสพาร์ติกและกรดกลูตามิก เท่ากับ 593.6 และ 1,067.8 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่าวิธีตกผลึก

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของซีอิ๊วจากเห็ดฟางสูตรลดโซเดียมและสูตรควบคุม

สิ่งทดลอง	ค่าสี			ปริมาณน้ำ อิสระ	pH	โซเดียม (%)	โปรตีน (%)	กรด กลูตามิก mg/100g)	กรด แอสพาร์ติก (mg/100g)
	L*	a*	b*						
ซีอิ๊วเห็ดฟาง	28.01^{b}	4.30^{b}	-6.53^{c}	0.81^{b}	5.30^{b}	18.00^{a}	12.30^{a}	1470.10^{b}	945.11^{a}
สูตรควบคุม	33.32^{a}	5.42^{a}	-2.09^{b}	0.80^{b}	5.22^{b}	17.50^{a}	13.13^{a}	1622.34^{a}	1008.75^{a}
ซีอิ๊วลดโซเดียมด้วยวิธีตกผลึก	29.62^{b}	4.03^{b}	-6.68^{c}	0.83^{b}	5.21^{b}	14.50^{b}	12.48^{a}	1433.20^{b}	967.80^{a}
ซีอิ๊วลดโซเดียมด้วยวิธีกลิ่นเสริมรสเค็ม	36.41^{a}	3.92^{b}	1.08^{a}	0.89^{a}	5.70^{a}	11.85^{c}	9.05^{b}	1067.80^{c}	593.60^{b}

หมายเหตุ a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวตั้งเดียวกันมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

นำซีอิ๊วที่ได้จากทั้งสองกรรมวิธีไปทดสอบความชอบและการยอมรับเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้า พบว่า ผู้ทดสอบชอบตัวอย่างซีอิ๊วทั้งสามตัวอย่างแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยชอบสูตรทางการค้ามากที่สุด (7.47) รองลงมาคือสูตรที่ใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม (6.33) และสูตรที่ใช้วิธีตกผลึก (5.41) ตามลำดับ

ผู้ทดสอบชอบสูตรทางการค้ามากที่สุดเนื่องจากชอบความเข้มของสี (6.81) กลิ่น (7.05) และรสเค็ม (6.50) ของตัวอย่างนี้มากที่สุด ขณะที่ชอบซีอิ๊วที่ใช้กลิ่นเสริมรสเค็มมากกว่าวิธีตกผลึกเนื่องจากผู้ทดสอบให้คะแนนคุณลักษณะด้านกลิ่นสูงกว่า (6.67 และ5.10 ตามลำดับ) ขณะที่ความชอบด้านสี ผู้ทดสอบสูตรที่ใช้วิธีตกผลึก (6.30) สูงกว่าวิธีใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม (5.27) เนื่องจากมีความเข้มมากกว่า เมื่อทดสอบความชอบด้านรสเค็ม พบว่า ผู้ทดสอบชอบซีอิ๊วที่ใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม (6.14) มากกว่าซีอิ๊วที่ใช้วิธีตกผลึก (5.37) ($p \leq 0.05$) เมื่อประเมินการยอมรับ พบว่า ผู้ทดสอบยอมรับสูตรทางการค้ามากที่สุด (ร้อยละ 92.36) รองลงมาคือ ซีอิ๊วให้วิธีเสริมรสเค็มและวิธีตกผลึก โดยร้อยละการยอมรับ เท่ากับ 80.14 และ 78.15 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะสูตรทางการค้ามีการปรุงแต่งทั้งรสชาติและกลิ่นโดยมีการเติมสารปรุงแต่งกลิ่นรสต่างๆ เช่น น้ำตาล กลิ่นซอส ขณะที่ซีอิ๊วจากเห็ดฟางยังไม่ได้ผ่านการปรุงแต่งรสชาติจึงส่งผลต่อความชอบและการยอมรับของผู้บริโภคได้

6. อภิปรายผล

การเตรียมเห็ดฟางอบแห้งโดยการใช้สภาวะการอบแห้งอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ตัวอย่างจะมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ10 ขณะที่ปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 โดยปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระดังกล่าวสามารถป้องกันการเน่าเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ ซึ่งมีความสำคัญต่ออายุการเก็บรักษา การเสื่อมเสียและความปลอดภัยของอาหาร (รังสินี โสธรวิทย์, 2550) ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระเป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร แนวทางการแปรรูปให้อาหารมีอายุการเก็บได้นานและลดโอกาสการเสื่อมเสียจากปฏิกิริยาเคมีที่ไม่พึงประสงค์

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเห็ดฟางอบแห้ง ถั่วเหลือง และแป้งข้าวเจ้าในการผลิตซอสโดยใช้วิธีการหมักด้วยจุลินทรีย์ คือ หัวเชื้อราชนิด *Aspergillus oryzae* ซึ่งเป็นกระบวนการธรรมชาติที่อาศัยการทำงานของเอนไซม์ผลิตจากเชื้อราที่ใช้ในการหมักได้ผลิตภัณฑ์ หมักไว้เป็นระยะเวลา 6 เดือน จากนั้นนำไปศึกษาค่าคุณภาพเพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม พบว่า หากปริมาณเห็ดฟางเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความสว่าง ค่าสีเขียว-แดง และค่าสีน้ำเงิน-เหลืองของซีอิ๊วมีค่าลดลงและมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.80-0.82 ซึ่งปริมาณน้ำอิสระดังกล่าวจะไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค ได้แก่ แซลโมเนลลา คลอสติ-เดียม เพอร์ฟริงเจนส์ อีโคไล แต่สามารถเกิดเชื้อราและเชื้อ สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ได้ ศึกษาค่า pH พบว่า ซีอิ๊ว 7 กรรมวิธีและสูตรควบคุม (ถั่วเหลือง 100%) ไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5.00-5.23 ซึ่งเป็นค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำซีอิ๊วที่กำหนดให้ผลิตภัณฑ์ต้องมีค่า pH ระหว่าง 4.5-6.0 ผลการทดลอง พบว่า สิ่งทดลองที่ 2 มีความเหมาะสมในการนำผลิตซีอิ๊วจากเห็ดฟาง โดยมีอัตราส่วนระหว่างเห็ดฟาง : ถั่วเหลือง : แป้งข้าวเจ้า คือ 40:30:30 ซึ่งสิ่งทดลองที่ใช้เห็ดฟางสูงขึ้นจะส่งผลให้ความชอบของผู้บริโภคเพิ่มขึ้น เนื่องจากเห็ดฟางมีรสชาติที่เด่นชัด คือ รสอูมามิซึ่งเป็นรสชาติของกลูตาเมตอิสระ หนึ่งในกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนพบได้ในอาหารตามธรรมชาติหลากหลายชนิด เช่น เห็ด สาหร่าย เนื้อสัตว์ ถั่วลันเตา และเครื่องปรุงรสต่างๆ สารสำคัญที่ให้รสอูมามิ คือ กรดกลูตามิกและกรดแอสพาร์ติก โดย Fumio *et al*. (2015)รายงานว่า เห็ดฟางในระยะดอกบานมีปริมาณสารสำคัญที่ให้รสอูมามิในเห็ดฟางเพิ่มขึ้นสูงขึ้นเกือบ 3 เท่าของระยะเริ่มต้น ดังนั้นสิ่งทดลองที่ใช้ปริมาณเห็ดฟางสูงมีผลทำให้รสชาติของซีอิ๊วที่ได้ดีกว่าสิ่งทดลองที่ใช้เห็ดฟางในปริมาณน้อย นอกจากนี้

กระบวนการหมักที่ใช้วัตถุดิบที่อุดมไปด้วยโปรตีนดังเช่นเห็ดฟางมาผสมเกลือแล้วทำการหมักด้วยจุลินทรีย์ *Aspergillus oryzae* ซึ่งจะสร้างเอนไซม์โปรติเอสในระหว่างการหมักและทำหน้าที่ย่อยโปรตีนที่อยู่ในเห็ดฟางจนได้เป็นกรดอะมิโน ไนโตรเจนที่อยู่ในกรดอะมิโนนี้จะส่งผลต่อกลิ่นรสของซอสที่หมักได้ (Guozhong *et al*, 2018) ดังนั้น การใช้เห็ดฟางในปริมาณสูงจะยิ่งเพิ่มปริมาณกรดกลูตามิกให้สูงขึ้นและรสชาติของเครื่องปรุงรสที่รสชาติดีจะเกิดจากการมีปริมาณกลูตา-มิกสูงกว่ากรดอะมิโนชนิดอื่นๆ

ศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียมในผลิตภัณฑ์ซีอิ๊วจากเห็ดฟาง

เริ่มต้นการหมักใช้น้ำเกลือร้อยละ 20 เมื่อหมักเป็นเวลา 6 เดือน ซีอิ๊วมีปริมาณโซเดียมลดลงเล็กน้อย โดยมีโซเดียมเหลือร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเกลือโซเดียมคลอไรด์มีหน้าที่ยับยั้งและคัดเลือกจุลินทรีย์ในขั้นตอนการหมักน้ำเกลือ โดยจุลินทรีย์ที่สามารถทำงานได้ดีจะสร้างเอนไซม์โปรตีเอสเพื่อย่อยโปรตีนโมเลกุลใหญ่ให้เกิดเป็นกรดอะมิโน ซึ่งผลของโปรตีนที่ถูกย่อยสลายจนเกิดเป็นกรดอะมิโนมีผลทำให้เกิดไนโตรเจนที่ละลายได้ในช่วงของการหมักเกิดขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อตรวจปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ของสิ่งทดลองจึงมีปริมาณลดลงเมื่อเทียบกับปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์เริ่มต้น อีกทั้งความชื้นที่อยู่ในโคจิจะเจือจางให้ความเข้มข้นของเกลือลดลงด้วยเมื่อหมักในน้ำเกลือ (Kotaro and Asahi, 2021) นำสิ่งทดลองไปศึกษากรรมวิธีการลดโซเดียมด้วยวิธีการตกผลึกและวิธีใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม พบว่า

1) วิธีการตกผลึก เป็นวิธีในการลดความเข้มข้นของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ โดยต้องมีการลดปริมาตรสารละลายให้เป็นสารละลายยิ่งยวดซึ่งสสารส่วนใหญ่ในธรรมชาติสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีอุณหภูมิสูง จากนั้นนำสารละลายอุณหภูมิสูงดังกล่าวไปทำให้เย็นตัวลงจะก่อให้เกิดการแยกตัวของสารเกิดเป็นผลึกของแข็ง ซึ่งเรียกว่า การตกผลึก (กุมุนาถ ปานหอ, 2546)

2) วิธีใช้กลิ่นเสริมรสเค็ม พบว่า กลิ่นซอสถั่วเหลืองสามารถเพิ่มระดับการรับรู้รสเค็มของผู้บริโภคได้ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้เกิดขึ้นจากการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้กลิ่นและการรับรู้รส (odour-taste interaction) เป็น cross-modal perception แบบหนึ่งในการรับรู้ทางประสาทสัมผัส (Narisa *et al*. 2011; Lawrence *et al*. 2011) โดยมีงานวิจัยที่ศึกษาเจาะจงเกี่ยวกับการเพิ่มระดับความเข้มของการรับรู้ความเค็ม (saltiness) ด้วยกลิ่นที่มีความเกี่ยวข้องหรือสัมพันธ์กับรสเค็มซึ่งเรียกว่า Odour-Induced Saltiness Enhancement (OISE) โดย Spence *et al*. (2022) ได้ศึกษาการเติมกลิ่นปลาซาดีนลงในสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นต่ำ พบว่า การเติมกลิ่นปลาซาดีนทำให้ผู้ทดสอบรับรู้รสเค็มได้มากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกลิ่นซาดีน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการเพิ่มกลิ่นซอสถั่วเหลืองในซีอิ๊วจากเห็ดฟาง พบว่า ปริมาณกลิ่นซอสถั่วเหลืองสามารถเพิ่มการรับรู้รสเค็มได้ โดยปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งทำให้ระดับการรับรู้รสเค็มของผู้ทดสอบเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างที่ไม่เติมกลิ่นซอสถั่วเหลือง ($p \leq 0.05$)

7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตซีอิ๊วจากเห็ดฟางสูตรลดโซเดียมให้แก่ เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชนผู้ปลูกเห็ดฟาง เพื่อให้สามารถสร้างธุรกิจเกษตรแบบครบวงจรและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้ ส่งเสริมให้เกิดการสร้างอาชีพใหม่และรายได้เพิ่มให้แก่เกษตรกรและวิสาหกิจชุมชน

8. เอกสารอ้างอิง

กุมุทนาถ ปานหอ, สุรีย์พร กังสนันท์ และอรัญ หันพงศ์กิตติกูล. (2546). *การศึกษาการลดความเค็มในซีอิ๊ว*. โครงงาน ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร.

เพ็ญประภา สุวรรณะ. (2551). *การศึกษาผลของปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีต่อกระบวนการหมักซีอิ๊วจากถั่วมะแฮะและถั่วเหลือง*. สารนิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

รังสินี โสธรวิทย์. (2550). *เคมีและจุลชีววิทยาเบื้องต้นของอาหาร*. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิชัย เอกพลากร. (2563). *การบริโภคโซเดียมของคนไทย* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2564, จาก: https://www.bangkokbiznews.com/health/906204

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. (2558). ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2558 เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : เห็ดฟาง. ราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 132, ตอนพิเศษ 92 ง (ลงวันที่ 23 เมษายน 2558).

อนุวัตร แจ้งชัด. (2549). *สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Chokumnoyporn, N., Sriwattana S., Phimolsiripol Y., Torrico D.D. and Prinyawiwatkul W. (2015). Soy sauce odour induces and enhances saltiness perception. *International Journal of Food Science and Technology* 50 (10), 2215-2221.

Fumio E, Sofronio P. K., Rich M. R. D., Noriko M., Hiroaki Y. and Tomoko S. (2015). Nutrient composition and functional activity of different stages in the fruiting body development of Philippine paddy straw mushroom, volvariella volvacea (Bull.:Fr.). *Advances in Environmental Biology*, 9(22), 54-65.

Guozhong Z., Li-Li D., Yunping Y., Yanping C., Zhi-Hui P. and De-Hua K. (2018). Extracellular Proteome Analysis and Flavor Formation During Soy Sauce Fermentation. *Frontiers in Microbiology*, 15(9), 528-540.

Kotaro I. and Asahi M. (2021). Koji Molds for Japanese Soy Sauce Brewing: Characteristics and Key Enzymes. *Journal of Fungi*, 7(8), 658-667.

Lawrence G., Salles C., Palicki O., Septier C., Busch J. and Thomas-Danguin T. (2011). Using cross-modal interactions to counterbalance salt reduction in solid foods. *International Dairy Journal*, 21(2), 103-110.

Libin S., Zhi-yong Z., Guang X. and Bing-xin S. (2019). Advances in umami taste and aroma of edible mushrooms. *Trends in Food Science & Technology*, 12(7), 119-125.

Meilgaard M., Civille G.V. and Carr B.T. (2006). *Sensory Evaluation Techniques*. 4th Ed. CRC Press, Boca Raton, FL. 464P.

Nasri N., Beno N., Septier C., Salles C., and Thomas-Danguin T. (2011). Cross-modal interactions between taste and smell: odour-induced saltiness enhancement depends on salt level. *Food Quality and Preference*, 22(7), 678-689.

Spence C. (2022). Factors affecting odour-induced taste enhancement. *Food Quality and Preference*, 18(96), 327-335.

ความเป็นพิษของแทนนินจากใบฝรั่งแห้งและผลต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลากัด

TANNIN TOXICITY FROM DRIED GUAVA LEAVES AND ITS EFFECT ON WATER QUALITY IN BETTA FISH CULTURE

นายนภพล อินทรพิน

คณะประมง ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

E-mail: napaphon.in@ku.th

พงศ์เชฏฐ์ พิชิตกุล

คณะประมง ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: ffispcp@ku.ac.th

อิสริยา วุฒิสินธุ์

คณะประมง ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: idsariya.w@ku.th

บทคัดย่อ

การศึกษาสารสกัดแทนนินสกัดจากใบฝรั่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณแทนนินทั้งหมดและศึกษาระดับความเป็นพิษการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. การหาปริมาณแทนนินจากใบฝรั่งโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 740 นาโนเมตร 2. ทดสอบความเป็นพิษของสารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งที่ทำให้ปลากัดตายภายใน 96 ชั่วโมง โดยที่ 2.1 คือ การหาความกว้างของความเป็นพิษจากสารสกัดแทนนินที่ทำให้ปลาตายใน 96 ชั่วโมง 2.2 เลือกความเข้มข้นที่จะศึกษาในระดับที่ฆ่าปลากัดและปลากัดไม่ตายเพื่อดูความเป็นพิษที่ฆ่าปลากัดได้ครึ่งหนึ่ง (LC_{50}) การศึกษาความเป็นพิษของแทนนินจากใบฝรั่งแห้งไปเป็นปลากัดจีน (*Betta splendens*) ดำเนินการโดยวิธีการวิเคราะห์ทางชีวภาพแบบคงที่ ทดสอบความเป็นพิษของแทนนินต่อปลาและผลของแทนนินต่อคุณภาพน้ำ ทุก 96 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบพฤกษเคมี เช่น แทนนินรวมและฟีนอลิกรวมในใบฝรั่งแห้ง เท่ากับ 5.56 มก./ลิตร และ 63.82 มก./ลิตร ตามลำดับ ปลากัดจีนได้รับแทนนินที่ความเข้มข้นต่างกัน 0,200,300,350,400 ppm ค่ามัธยฐานที่ทำให้ถึงตายได้ (LC_{50}) ที่ 96 ชม. เท่ากับ 309.7 มก./ลิตร ไม่พบการตายของปลาในการควบคุมการบำบัด ศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ความขุ่นเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแทนนินที่เพิ่มขึ้น ระดับออกซิเจนละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของแทนนินเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ขณะที่ไนไตรต์-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของแทนนินเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในความเข้มข้นของแทนนินมากกว่า 200 ppm ความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในช่วง 96 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียรวมระหว่างชุดควบคุมและระดับแทนนิน 200 ppm ทุก 6 ชั่วโมง พบว่าแอมโมเนียรวมที่ระดับ 200 ppm แทนนินจะมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และเพิ่มขึ้นถึงระดับชุดควบคุมเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 30 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าแทนนินมีความสามารถในการลดแอมโมเนียรวมในน้ำได้ในระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมงเท่านั้น

คำสำคัญ: ปลากัดจีน, Betta splendens, ใบฝรั่ง, แทนนิน, คุณภาพน้ำ

ABSTRACT

This research will focus on guava leaves. The objective was to determine the total tannin and studied the level of toxicity. The experiment was divided into 2 processes: 1. Determination of tannin content from guava leaves by using the spectrophotometer at a wavelength of 740 nm. 2.test the toxicity of tannin extracts from guava leaves that caused betta fish to die within 96 hours. where 2.1 is to find the width of the toxicity from the extracts of tannins that caused the fish to die in 96 hours. 2.2 Choose a concentration to study at the level that killed betta and non-lethal betta to see the toxicity that killed half of the betta (LC_{50}). A toxicity study of tannins from dried guava leaves to Chinese betta (*Betta splendens*) was conducted by static bioassay method. The toxicity of tannins to fish and the effect of tannin to water qualities were tested at 96 hours intervals. The results showed that the concentration of phytochemical compounds such as total tannin and total phenolic in dried guava leaves were 5.56 mg/L and 63.82 mg/L respectively. Chinese betta receives tannins at different concentrations of 0,200,300,350,400 ppm. The median lethal concentration (LC_{50}) at 96 hrs. was 309.7 mg/l. Fish mortality did not notice in the control treatment. The effect on water quality was investigated. Turbidity increased with increasing tannin concentration level. Dissolved oxygen levels significantly decreased when the concentration of tannin increased ($P<0.05$). While Nitrite-nitrogen significantly increased when the concentration of tannin increased ($P<0.05$). pH was significantly decreased in tannin concentration by more than 200 ppm. ($P<0.05$) . Total ammonia nitrogen in all treatments did not differ within 96 hrs. ($P>0.05$). However, when comparing between control and tannin 200 ppm at 6 hrs. interval, the results revealed that concentration of tannin 200 ppm had lower total ammonia concentration than control within 24 hrs. while the total ammonia concentration increased over control after more than 30 hrs. The results indicated that tannin could reduce total ammonia with in only 24 hrs.

Keywords: Chinese Betta, *Betta splendens*, Guava Leaves, Tannin, Water Quality

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำสวยงามในประเทศไทยมีการขยายตัวมากขึ้น และมีการส่งออกสัตว์น้ำสวยงามไปจำหน่ายในต่างประเทศเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมีการส่งออกปลาสวยงาม 48.22 ล้านตัว คิดเป็นมูลค่า 133.49 ล้านบาท ในปี พ.ศ.2561 ประเทศไทยมีการส่งออกปลาสวยงามเพิ่มขึ้นเป็น 123.19 ล้านตัว คิดเป็นมูลค่าการส่งออกปลาสวยงามของไทย 447.56 ล้านบาท (กองวิจัยและพัฒนาสุขภาพกรมประมง, 2563) โดยปลากัดเป็นปลาที่ส่งออกมากที่สุดและมีมูลค่ามากที่สุด ปัจจุบันแผนแม่บทการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของประเทศไทย (ปี พ.ศ. 2560-2564) ได้ให้ความสำคัญกับธุรกิจการเพาะเลี้ยงปลาสวยงามโดยมีการร่างยุทธศาสตร์ปลาสวยงามและพรรณไม้น้ำ (พ.ศ. 2561-2565) ขึ้นมาเพื่อพัฒนาศักยภาพการผลิตปลาสวยงามของไทย

จากสภาวะการเลี้ยงปลาสวยงามที่หนาแน่นและคุณภาพน้ำที่นำมาเลี้ยงปลาสวยงามไม่ดี รวมไปถึงสภาวะขาดแคลนน้ำจากภัยแล้ง ทำให้การควบคุมคุณภาพน้ำทำได้ยาก ทำให้ปลาสวยงามไม่แข็งแรงและตายได้ ปัญหาคุณภาพน้ำได้แก่ การเกิดแอมโมเนียเป็นพิษ ตลอดจนปัญหาโรคในปลาสวยงามเกิดจากการติดเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งเกษตรกรก็จะใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำและรักษาโรค ในการรักษาโรคก็มีการใช้ยาปฏิชีวนะที่อาจตกค้างในสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันเกษตรกรมีการใช้วิธีการหมักปลาด้วยสมุนไพรต่างๆ ใบไม้ ว่าน ดินจอมปลวก

และอื่นๆ เพื่อช่วยเคลือบเกล็ดปลา ซึ่งเชื่อกันว่า จะทำให้เกล็ดแข็งกัดเข้าได้ยาก ควบคู่ไปกับการคัดเลือกพันธุ์ (ยนต์ มุสิก และ คณะ 2548)

พืชสมุนไพรพื้นบ้าน เช่น ฝรั่ง เป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายมีอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป ผลสามารถนำมาบริโภคหรือขายได้ ใบฝรั่งมีแทนนิน (tannin) เป็นองค์ประกอบสามารถลดเชื้อแบคทีเรียได้เช่นกัน สิริมาและพรพิมล (2558) รายงานค่าปริมาณกรดแทนนิก (tannic acid) ในพืชต่างๆ พบว่าใบหูกวางมีปริมาณกรดแทนนิก 8.25+0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ใบฝรั่งมีปริมาณกรดแทนนิก 13.00 + 3.22 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของประสิทธิภาพในการลดเชื้อโรค กฤดา ชูเกียรติศิริ และคณะ (2550) พบว่าสารสกัดใบฝรั่งด้วยเอธิลแอลกอฮอล์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่แยกจากปลาทองได้ที่ความ เข้มข้น 0.625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (625 มิลลิกรัมต่อลิตร) ใกล้เคียงกับที่ศิวพงษ์ โกสิงห์ และคณะ (2561) พบว่าสารสกัดใบหูกวาง(ที่ทำเป็นผง)ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* ได้ และศิวพงษ์ โกสิงห์ และคณะ (2561) อ้างถึง Ponpompisit (2006) ที่รายงานว่าสารสกัดใบหูกวาง(แบบน้ำ)สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ที่ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร Meigy Nelce Mailoa และ คณะ (2014) รายงานว่าแทนนินที่สกัดจากใบฝรั่งสามารถหยุดการเจริญเติบโตของ E*scherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Staphilococcus aureus, Aspergillus niger* และ *Candida albicans* ได้ จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าใบฝรั่งมีปริมาณแทนนินสูง มีศักยภาพในการลดเชื้อโรคได้ดี นอกจากนี้ยังมีการใช้สารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งมาบำบัดน้ำเสียชุมชนได้(ณัฐพร คงเกษม และ คณะ 2561)

ดังนั้นในการทดลองนี้จึงต้องการศึกษาระดับความเป็นพิษของแทนนินจากใบฝรั่งและผลต่อคุณภาพน้ำเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการใช้พืชสมุนไพรในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ศึกษาปริมาณแทนนินจากใบฝรั่ง
2) ศึกษาระดับความเป็นพิษของสารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งทำให้ปลากัดตายครึ่งหนึ่งในเวลา 96 ชั่วโมง
3) ศึกษาผลของแทนนินจากใบฝรั่งต่อคุณภาพน้ำในการเลี้ยงปลากัด

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ชื่อหัวข้อ 3.1-3.3 สามารถปรับได้ตามความเหมาะสมระหว่างบทความวิจัยทางสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ และบทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารแทนนิน (tannin)เป็นสารที่สังเคราะห์ได้จากพืช พบได้ทั่วไปในพืชมากมายหลายชนิด เช่น ฝรั่ง กระถิน หูกวาง อบเชย มังคุด ทับทิม มะม่วง กล้วย องุ่น ชา ถั่ว โกงกาง เป็นต้น โดยมีอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช อาทิ ใบ เปลือก แก่นไม้ เมล็ด และปูดหรือยางไม้ที่สร้างขึ้นเพื่อหุ้มไข่ของแมลงที่มาวางไข่กับต้นไม้ (พิมพ์สุมน เจียมบุญศร, 2562)

แทนนินเป็นสารชนิดหนึ่งในสารกลุ่มโพลีฟีนอล (Polyphenol compounds) แทนนินมีโมเลกุลขนาดใหญ่ สามารถแบ่งเป็นแทนนินออกเป็น 2 ชนิด (Haslam, 1989; Lemmens และ คณะ 2544; ชลธิชา นิวาสประกฤติ และ คณะ 2556) คือ -Hydrolyzable tannins มีคุณสมบัติในการ ละลายในน้ำ สารสำคัญในแทนนินชนิดนี้จะเป็นกลุ่ม gallic acids พืชที่พบ Hydrolyzable tannins ได้แก่ มะขามป้อม -Condense tannins หรือ Proanthocyanidins เป็นแทนนินที่ละลายน้ำได้ยาก

แทนนินเป็นสารที่มีรสขมและฝาดในพืชองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีที่พบในแทนนิน นอกเหนือไปจากน้ำตาล คือ กรดแกลลิค กรดเอลลาจิค ฟลาโวนอยด์ ลิกแนนส์ สทีลบีนอยด์และคีโนนส์ กรดแกลลิคเกิดขึ้นจากกระบวนการออกซิเดชั่นของกรดชิกิมิคซึ่งเป็นสารที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ในพืชขั้นต้นสารที่มีความสัมพันธ์กับฟลาเวน (flavane) และสารประกอบของกรดแกลลิค (gallic acid) จัดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของแทนนิน การแยกแทนนินออกเป็น Hydrolyzable tannins และ Condense tannins หลักในการแยกดูจากการที่กรดหรือเอนไซน์ทำปฏิกริยาเกิดจากการแตกตัวหรือรวมตัวกับสารโพลิเมอร์ เป็นไปได้ว่าการแยกดังกล่าวขึ้นอยู่กับกลุ่มสารที่เกี่ยวข้องกับกรดแกลลิคและกลุ่มสารที่เกี่ยวข้องกับฟลาเวน (Lemmens และ คณะ, 2544)

ค่าความเป็นพิษ

Median Lethal Concentration (LC_{50}) และ Median Lethal does (LD_{50}) หมายถึง ปริมาณของสารพิษต่อน้ำหนักตัวที่สัตว์ทดลองได้รับเข้าไป แล้วทำให้สัตว์ทดลองตายเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (Median Lethal Concentration) ที่นำมาทดลองทั้งหมด ค่านี้จะดีโดยทำการทดลองกับสัตว์ทดลองกับสารที่หลายๆ ความเข้มข้น (อาจจะประมาณ 3-5 ความเข้มข้น) แล้ววัดอัตราการตายของสัตว์ทดลองที่อยู่ในช่วงระหว่าง 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต่อแล้วนำผลการทดลองมาทำกราฟ โดยให้แกนนอน (แกน X) เป็นค่า log ของความเข้มข้น และแกนตั้ง (แกนY) เป็นค่าเปอร์เซ็นต์การตาย จากนั้นทำการวัดเปอร์เซ็นต์การตายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ว่าตรงกับความเข้มข้นที่เท่าไหร่ แล้วนำมาหาค่า antilog ก็จะทราบปริมาณที่ทำให้สัตว์ทดลองตายที่ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือ LD_{50} (วสกร บัลลังก์โพธิ์, 2555)

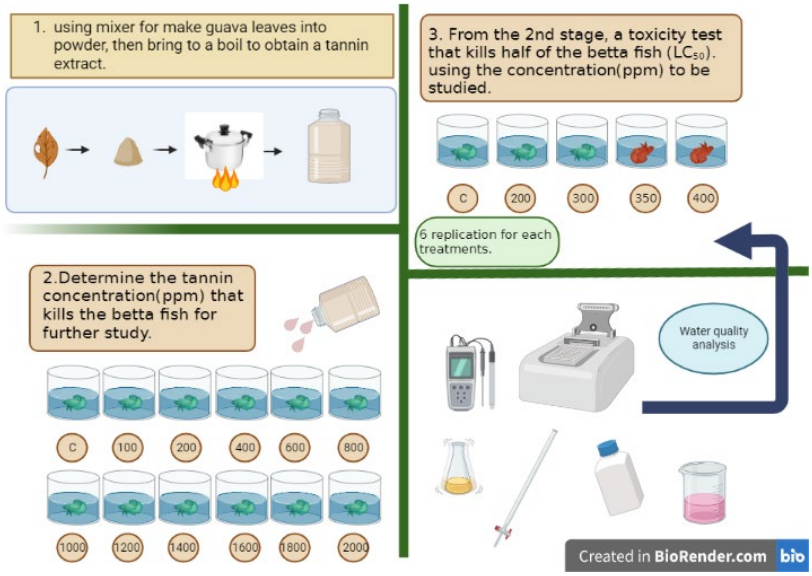
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สิริมา เดชะ และ คณะ (2558) นำวิธีตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์กรดแทนนิกในตัวอย่างพืชด้วยวิธีการสกัดระดับไมโครโดยอาศัยหลักการกระจายตัวระหว่างชั้นของเหลว ที่ใช้ตัวทำละลายสกัดเป็นชนิดความหนาแน่นต่ำ ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณกรดแทนนิกในใบพืชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ ใบหูกวาง ใบฝรั่ง ใบกระท้อน และใบยอ พบปริมาณกรดแทนนิกมีอยู่ในตัวอย่างในช่วง 8.29+0.28 ถึง 16.161+0.88 มิลลิกรัมต่อลิตร โดย ใบหูกวางมีปริมาณกรดแทนนิก 8.25+0.28 มิลลิกรัมต่อลิตร ใบฝรั่งมีปริมาณกรดแทนนิก 13.00 + 3.22 มิลลิกรัมต่อลิตร

Meigy Nelce Mailoa และ คณะ (2014) รายงานว่าแทนนินที่สกัดจากใบฝรั่งสามารถหยุดการเจริญเติบโตของ *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphilococcus aureus*, *Aspergillus niger* และ *Candida albicans* ได้กฤดา ชูเกียรติศิริ และ คณะ (2550) พบว่าสารสกัดใบฝรั่งด้วยเอธิลแอลกอฮอล์สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Aeromonas hydrophila* ที่แยกจากปลาทองได้ที่ความ เข้มข้น 0.625 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (625 มิลลิกรัมต่อลิตร) ศิวพงษ์ โกสิงห์ และ คณะ (2561) พบว่าสารสกัดใบหูกวาง(ที่ทำเป็นผง)ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *A. hydrophila* ได้ และศิวพงษ์ โกสิงห์ และ คณะ (2561) อ้างถึง Ponpompisit (2006)ที่รายงานว่าสารสกัดใบหูกวาง(แบบน้ำ)สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ที่ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรเพ็ญศรี บุญตามช่วย และ คณะ (2548) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบฝรั่งด้วยการต้มโดยทดลองกับใบฝรั่งสด ใบฝรั่งแห้ง ใบฝรั่งแห้งที่เก็บไว้1 เดือน พบว่าใบฝรั่งสด และใบฝรั่งแห้งมีประสิทธิภาพในการกำจัดแบคมีเรียที่ก่อโรคในกุ้งกุลาดำ ได้แก่ *Vibrio damsela, V. alginolyticus, V. pelagius II, V. vulnificus, V. harveyi, V.parahaemolyticus และ V. mimicus* การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าความร้อนจากการต้มไม่มีผลต่อสารสกัดจากใบฝรั่ง และสารสกัดสามารถออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อวิบริโอได้ดี ขณะที่อายุการเก็บรักษาใบฝรั่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการยับยังเชื้อวิบริโอลดลงJayshree D. Patel และ คณะ (2009) ทำการการศึกษาฤทธิทางเภสัชวิทยา โดยทดสอบการสกัดสีเสียดไทยด้วยตัวสกัดต่างๆ พบว่าตัวสกัด petroleum ether extract สามารถยับยั้ง

Pseudomonas aeruginosa ได้ดี ตัวสกัดด้วยน้ำสามารถยับยั้ง *Bacillus subtilis* ได้ดี และตัวสกัดจาก chloroform สามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ได้ดี

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ความเข้มข้นของปริมาณแทนนิน ยิ่งความเข้มข้นสูงมาก จะส่งผลต่ออัตราการตายของปลากัดและส่งผลต่อคุณภาพน้ำบางประการ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

(ชื่อหัวข้อ 4.1-4.5 สามารถปรับได้ตามความเหมาะสมระหว่างบทความวิจัยทางสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ และบทความวิจัยทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

4.1 แบบแผนการวิจัย

1) การทดลองที่ 1 วิเคราะห์ปริมาณแทนนินจากใบฝรั่ง

1.1 การเตรียมสารสกัดหยาบจากใบฝรั่งโดยทดลองสกัดด้วยการต้มซึ่งเกษตรกรจะทำได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ ในการวิจัยนี้จะใช้ใบฝรั่งแห้ง (ใกล้ร่วงจากต้น) นำไปต้มในน้ำกลั่น 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ซึ่งดำเนินการสกัดตามรายละเอียดในวิธีการของเพ็ญศรี บุญตามช่วย และ คณะ (2548)

1.2 วิเคราะห์ปริมาณแทนนินจากใบฝรั่ง (ชุดละ 3 ซ้ำ) จากข้อ 1.1 ด้วยวิธีการดัดแปลงจาก Association of Official Analytical Chemists (1990) โดยสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายกรดแทนนิกที่ความเข้มข้นต่างๆ มาหาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 740 นาโนเมตร คำนวณปริมาณแทนนินในสารสกัดจากพืชสมุนในข้อ 1.1 โดยเทียบค่าที่ได้กับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแทนนิก

2) การทดลองที่ 2 ศึกษาระดับความเป็นพิษของสารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งที่ทำให้ปลากัดตายครึ่งหนึ่งในเวลา 96 ชั่วโมง

2.1 ทำการทดลองระดับความเป็นพิษของสารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งที่ทำให้ปลากัดตายครึ่งหนึ่งในเวลา 96 ชั่วโมง (แยกการทดลองเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ 1.3.1 วิเคราะห์ LC_{50}-96 ชั่งโมงของแทนนินจากใบฝรั่ง คือเตรียมโหลแก้วที่บรรจุสารสกัดแทนนินที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ (รวมชุดควบคุมที่ไม่ได้ใส่สารสกัดแทนนิน) โดยใช้ปลากัดเพศผู้ความเข้มข้นอย่างละ 1 ตัว ทำการทดสอบขั้นต้นเพื่อหาความเข้มข้นต่ำสุดที่สัตว์ทดลองตาย และความเข้มข้นสูงสุดที่สัตว์ทดลองไม่ตายโดยการหาช่วงของความเป็นพิษของสารสกัดแทนนิน สังเกตอาการและบันทึกการตายที่ 0, 24, 48, 96 ชั่วโมง

2.2 จากนั้นมาทำการทดลองขั้นละเอียด โดยใช้ผลจากการทดลองขั้นต้นมาพิจารณาระดับความเข้มข้นที่จะศึกษาเป็นระยะเวลา 96 ชั่วโมง โดยไม่เปลี่ยนถ่ายน้ำ สังเกตอาการและบันทึกการตายที่ 0, 24, 48, 96 ชั่วโมง ซึ่งในการทดสอบทั้ง 2 ขั้นจะทำการศึกษาคุณภาพน้ำ และ ทดสอบ Probit analysis ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

การทดลองขั้นต้น จะใช้ปลากัด จำนวน12ตัว เพื่อหาความกว้างของความเป็นพิษจากสารสกัดแทนนินของใบฝรั่ง เพื่อดูค่าmortality ของปลากัด จากนั้น จะนำความเข้มข้นที่ปลากัดตาย และ ปลากัดไม่ตาย มาทำการทดลองขั้นละเอียด โดยใช้ ปลากัด1ตัว ต่อ ความเข้มข้น ที่ 0, 200,300, 350, 400 ppm (ทดลองละ 6 ซ้ำ) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์(Completely Randomized Design)

4.3 เครื่องมือวิจัย

1. ใบฝรั่งแห้ง
2. ปลากัด (male) อายุ 2 เดือน
3. โหลทดลอง
4. อาหารปลากัดสำเร็จรูป
5. สวิง
6. เครื่องมือ และอุปกรณ์วิเคราะห์น้ำ
7. สารเคมีในการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินและฟีนอลิก
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
9. เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดลองขั้นต้น จะเก็บข้อมูลค่าอัตราการตายของปลากัด ที่ LC_{50} 96 ชม. และความกว้างของความเข้มข้นปริมาณแทนนิน มาใช้ศึกษาในการทดลองขั้นละเอียด เช่น ความเข้มข้นที่ 200ppm ปลากัดไม่ตาย แต่ความเข้มข้นที่400 ppm ปลากัดตาย เราจะใช้ความเข้มข้นในช่วง200-400 ppm ที่ได้จากการทดลองขั้นต้น มาหาค่าอัตราการตายของปลากัด ที่ LC_{50} 96 ชม. เป็นจำนวน 6 ซ้ำ ต่อ 1 กลุ่มการทดลอง มีการหาค่าคุณภาพน้ำต่างๆ เช่น DO, pH, Temp, Turbidity. รวมถึงข้อมูลของน้ำใบฝรั่งที่ใช้ทดลอง มาวิเคราะห์ค่า แอมโมเนีย, ไนไตรท์, ความเป็นด่าง, ความกระด้าง ตามวิธีของ APHA, และ คณะ (2012)

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการสรุปข้อมูลการทดลองด้วยสถิติพรรณนาได้แก่ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นอกจากนี้การทดลองที่ 1 ในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลพิษวิทยาจะใช้การทดสอบ Probit analysis และจะใช้สถิติ Analysis of variance

และทดสอบ Post- hoc test ด้วย Turkey HSD ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Real Statistics Resource Pack (https://www.real-statistics.com/) และ SPSS version 27 (IBM Corp. 2020)

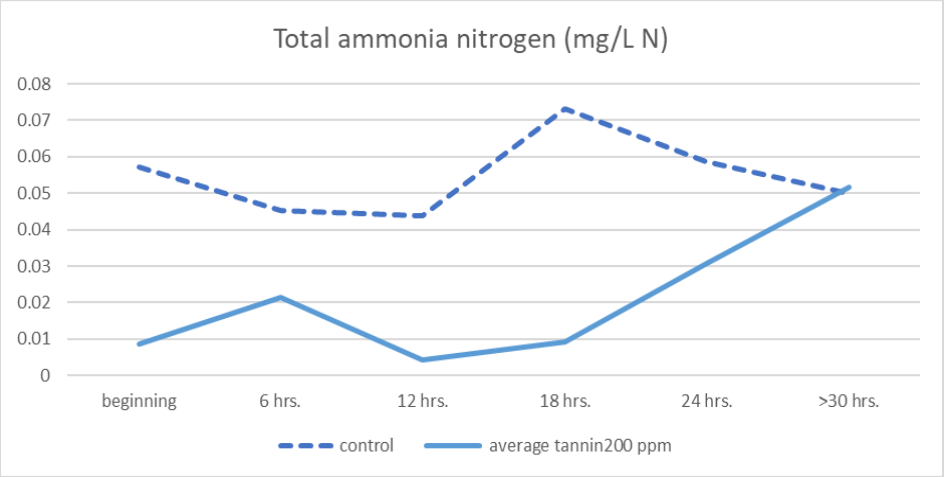
5. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารประกอบพฤกษเคมี เช่น แทนนินรวมและฟีนอลิกรวมในใบฝรั่งแห้ง เท่ากับ 5.56 มก./ลิตร และ 63.82 มก./ลิตร ตามลำดับ ปลากัดจีนได้รับแทนนินที่ความเข้มข้นต่างกัน 0,200,300,350,400 ppm ค่ามัธยฐานที่ทำให้ถึงตายได้ (LC_{50}) ที่ 96 ชม. เท่ากับ 309.7 มก./ลิตร ไม่พบการตายของปลาในการควบคุมการบำบัด ศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ ความขุ่นเพิ่มขึ้นตามระดับความเข้มข้นของแทนนินที่เพิ่มขึ้น ระดับออกซิเจนละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของแทนนินเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) ขณะที่ไนไตรต์-ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเข้มข้นของแทนนินเพิ่มขึ้น ($P<0.05$) pH ลดลงอย่างมีนัยสำคัญในความเข้มข้นของแทนนินมากกว่า 200 ppm ความเข้มข้นของแอมโมเนียรวมในช่วง 96 ชั่วโมง มีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างชุดทดลอง ($P>0.05$) อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมโมเนียรวมระหว่างชุดควบคุมและชุดทดลองระดับแทนนิน 200 ppm ทุก 6 ชั่วโมง พบว่าแอมโมเนียรวมที่ระดับ 200 ppm แทนนิน จะมีค่าต่ำกว่าชุดควบคุมในช่วง 24 ชั่วโมงแรก และเพิ่มขึ้นถึงระดับชุดควบคุมเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 30 ชั่วโมง ดังภาพที่ 2

ตารางที่ 1 ผลของแทนนินในใบฝรั่งแห้งต่อคุณภาพน้ำใน 96 ชั่วโมง

Water qualities indicators	Tannin concentration (ppm)				
	Control	200 ppm	300 ppm	350 ppm	400 ppm
TAN (mg/L N)	0.435 ± 0.25^{a}	0.542 ± 0.42^{a}	0.664 ± 0.5^{a}	0.641 ± 0.47^{a}	0.629 ± 0.45^{a}
Nitrile (mg/LN)	0.012 ± 0.007^{a}	0.024 ± 0.007^{b}	0.028 ± 0.004^{bc}	0.03 ± 0.005^{cd}	0.031 ± 0.005^{cde}
pH	7.80 ± 0.14^{a}	7.59 ± 0.08^{b}	7.40 ± 0.07^{c}	7.34 ± 0.11^{cd}	7.26 ± 0.1^{de}
TDS (ppm)	302.2 ± 2.1^{a}	308.7 ± 4.1^{b}	313.2 ± 1.6^{b}	311.3 ± 0.8^{b}	308.7 ± 3.3^{b}
Turbidity (NTU)	0.8 ± 0.1^{a}	7.0 ± 0.6^{b}	11.1 ± 0.5^{c}	15.8 ± 0.3^{d}	22.5 ± 3.1^{e}
Total alkalinity (mg/L as CaCO3)	86.00 ± 4.38^{a}	92.44 ± 4.95^{b}	93.67 ± 4.45^{bc}	94.94 ± 2.24^{bcd}	97.88 ± 4.86^{de}
Total hardness (mg/L as CaCO3)	122.17 ± 4.90^{a}	119.04 ± 6.18^{b}	128.88 ± 8.92^{a}	128.42 ± 10.00^{a}	128.42 ± 10.00^{a}
Dissolved oxygen (mg/L)	5.97 ± 0.22^{a}	4.68 ± 0.17^{b}	3.98 ± 0.31^{c}	3.90 ± 0.42^{c}	3.36 ± 0.67^{d}
Temperature (°C)	28.21 ± 0.15^{a}	28.38 ± 0.11^{a}	28.36 ± 0.18^{a}	28.31 ± 0.13^{a}	28.29 ± 0.15^{a}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงค่าความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)



แผนภาพที่ 2 เปรียบเทียบความเข้มข้นแอมโมเนียรวมระหว่างชุดควบคุม
และระดับแทนนิน 200 ppm ทุกๆ 6 ชั่วโมง

6. อภิปรายผล

การศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันต่อปลากัดจีน เพศผู้ อายุ2เดือน ในเวลา 96 ชม. (LC_{50}- 96 Hrs.) ในตำแหน่งค่ามัธยฐานที่ทำให้ปลากัดตายลงครึ่งนึง คือ ระดับความเข้มข้นที่ 309.7 มก./ลิตร โดยระดับความเข้มข้นที่ปลอดภัยสำหรับปลากัด(Safe Concentration) มีค่าเท่ากับ 200 ppm อาการที่หลังจากอยู่ในน้ำที่มีสารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งคือ ครีบตก, ฮุบอากาศบ่อยครั้ง, ว่ายน้ำฉวัดเฉวียน (บางตัว), ซึม และท้ายที่สุด ลอยนิ่งอยู่ก้นโหล ปลากัด และตายลง บางโหล มีของเสียของปลากัดที่ขับถ่ายอุจจาระออกมา สำหรับผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ พบว่าแทนนินสามารถลดพีเอชได้ในช่วง 96 ชั่วโมง ในขณะที่แอมโมเนียในชุดการทดลองที่มีแทนนินจะมีในแนวโน้มลดลงในช่วง 24 ชั่วโมงเท่านั้น

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) นำไปเป็นข้อมูลเปรียบเทียบหรือหาค่า ปริมาณแทนนินกับสมุนไพรชนิดอื่นที่ใช้กับการเลี้ยงปลากัดได้

(2) ข้อมูลค่าความเป็นพิษเฉียบพลันสามารถนำไปใช้ทดสอบกับปลาสวยงามชนิดอื่นๆ ในการทดลองขนาดเล็กได้ เช่น ปลานิล (ขนาด1.5-3 ซม.) ปลาหมอแคระ

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ทดลองกับสมุนไพรชนิดอื่น เช่นใบหูกวาง เปลือกสีเสียด เพื่อหาปริมาณแทนนิน ที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด ในการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลัน ต่อปลาสวยงาม

(2) ทดลองเลี้ยงปลากัดเป็นเวลา1-2เดือน ด้วยความเข้มข้นของสารสกัดแทนนินจากใบฝรั่ง ที่ทำให้ปลาไม่ตาย เพื่อดูอัตราการเจริญเติบโต เช่นความยาว น้ำหนักตัว รวมถึงการวิเคราะห์น้ำทุกสัปดาห์

8. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ

9. เอกสารอ้างอิง

กฤดา ชูเกียรติศิริ, ฏิลก วงศ์เสถียร,อภิธาน ลาภจิตร,ศราวิน สินธพทอง, สุรชัย พิกุลแก้ว,รัชต์ ขัตติยะ, สุนีย์ จันทร์สกาว. (2550). ผลของสารสกัดจากเปลือกทับทิม ใบชุมเห็ดเทศและใบฝรั่งในการยับยั้งเชื้อ Aeromonas hydrophilla. *Journal of Kasetsart Veterinarians, 17*(1).

กองวิจัยและพัฒนาสุขภาพกรมประมง. (2563). *ปริมาณและมูลค่าการส่งออกปลาสวยงามของไทยปี 2557-2561.* Retrieved from https://www4.fisheries.go.th/local/file_document/20200616131932_1_file.pdf

คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ม.ป.ป. *ฐานข้อมูลเครื่องยาสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.* Retrieved from http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=139

ชลธิชา นิวาสประกฤติ, ไมตรี มัณยานนท์, ยามาระตี จัยสิน,และปิยานี รัตนชานอง. (2556). การศึกษาลักษณะทางกายภาพ ปริมาณสารไฮโดรไลซ์แทนนินและฤทธิต้านอนุมูลอิสระอิสระของมะขามป้อมจากจังหวัดกาญจนบุรี. *Thai J Pharmacol, 35*(1).

ณัฐพร คงเกษม, และ ศิริพร จันทรคีรี. (2561). การบำบัดน้ำเสียโดยการตกตะกอนของสารสกัดแทนนิน, *การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยทักษิณครั้งที่ 28 ประจำปี 2561.*

เพ็ญศรี บุญตามช่วย, อรอนงค์ คงทวี , มานพ เห็นดีน. (2548). *ประสิทธิภาพของสารสกัดใบฝรั่งด้วยวิธีต้มต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวิบริโอในกุ้งกุลาดำ.* เอกสารวิชาการ 47/48 สถาบันวิจัยสุขภาพสัตว์น้ำชายฝั่ง กรมประมง.

พิมพ์สุมน เจียมบุญศร. (2562). เภสัชจลนศาสตร์ของสารกลุ่มแทนนิน. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, *28*(1).

ยนต์ มุสิก และ เตือนใจ โก้สกุล. (2548). *สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 30 เรื่องที่ 7 ปลากัด.* Retrieved from http://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=30&chap=7&page=chap7.htm

วสกร บัลลังก์โพธิ์. (2555). เอกสารคำสอนวิชานิเวศวิทยา: ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วาสนา เนียมแสวง. (2561). พฤกษเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของพืชที่มีสรรพคุณทางยา. *วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี*, *15*(2), 51-60.

ศิวพงษ์ โกสิงห์, ภัทรียา พลซา, กัลย์กนิต พิสมยรมย์, พรพิมล แสงจันทร์ และ สุพัฒน์ พลซา . (2561). การใช้สารสกัดใบหูกวางชนิดผงเพื่อยับยั้งเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในปลากัด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร (พิเศษ). 49*(3), 85-91.

สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดราชบุรี. (2563). *ข้อมูลเพื่อวางแผนพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ จังหวัดราชบุรี ปี 2563 ปลาสวยงาม.* Retrieved from https://www.opsmoac.go.th/ratchaburi-dwl-files-421591791292

สิริมา เดชะ, และ พรพิมล ม่วงไทย. (2558). การพัฒนาวิธีเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์กรดแทนนิกในตัวอย่างพืชด้วยวิธีการสกัดระดับไมโคร โดยอาศัยหลักการกระจายตัวระหว่างชั้นของเหลวที่ใช้ตัวทำละลายสกัดเป็นชนิดความหนาแน่นต่ำ. *วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี), 7*(14).

APHA, and et al. (2012). *Standard Methods for examination of water and wastewater* (22nd ed.). Washington: American Public Health Association.

Association of Official Analytical Chemists. (1990*). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Washington*: D. C. (A.O.A.C).

Haslam, E. (1989). *Plant Polyphenols*. Cambridge University Press: Cambridge, NY, USA.

IBM Corp. (2020). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 27.0.*

Jayshree D. Patel, and et al. (2009). *Antimicrobial screening and phytochemical analysis of the resin part of Acacia catechu*, *7*(1). Pharmaceutical Biology.

Lemmens, and et al. (2544). ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลำดับที่ *3 :* พืชที่ให้สีย้อมและแทนนิน. *PROSEA Thailand Country Office,* สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย*,* ห้างหุ้นส่วนจำกัด. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์

Meigy Nelce Mailoa, and et al. (2014). Antimicrobial Activities of Tannins Extract from Guava Leaves (Psidium Guajava L) On Pathogens Microbial. *International Journal of Scientific & Technology Research, 3*(1), 236-241.

Ponpompisit, A. (2006). The Study of India Almond Leaves (*Terminalia catappa L.*) on Siamese Fighting Fish (*Betta splendens*) and Guppy (*Poecilia reticulata*) diseases treatment. *Research Report,Chulalongkorn University, Bangkok*.

Verheij E.W.M., and et al. (2544). *ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลำดับที่* 2 : *ไม้ผลและไม้ผลเคี้ยวมัน PROSEA Thailand Country Office,* สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย*,* ห้างหุ้นส่วนจำกัด. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

การพัฒนาสูตรข้าวตังจากส่วนผสมที่มีดัชนีน้ำตาลปานกลางในท้องถิ่น และการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์

FORMULATION OF RICE CRACKERS FROM MEDIUM GLYCEMIC INDEX-LOCAL INGREDIENTS AND EVALUATION OF THE PRODUCT PHYSICAL CHARACTERISTICS

เพ็ญวรัตน์ พันธ์ภัทรชัย

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: penwarat_s@rmutl.ac.th

จรรยวรรธน์ ตัณฑ์เจริญรัตน์ วุฒิจำนงค์

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: vjanyawat@rmutl.ac.th

มณีรัตน์ เมืองใจ

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: oupookky_015@hotmail.com

บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นแหล่งปลูกข้าวที่สำคัญของโลกอีกทั้งยังมีพันธุ์ข้าวหลากหลายซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของท้องถิ่น งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแผ่นข้าวตังทอดกรอบจากวัตถุดิบท้องถิ่นได้แก่ ข้าว กข 43 แป้งข้าวเจ้าและข้าวก่ำดอยสะเก็ด ซึ่งเป็นพืชท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยจะศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตข้าวตังกรอบ 5 อัตราส่วน ได้แก่ สูตร 1 (1:1:8) สูตร 2 (3:1:6) สูตร 3 (5:1:4) สูตรที่ 4 (7:1:2) และสูตรที่ 5 (9:1:0) ชั่งน้ำหนักของส่วนผสมที่สุกแล้วก่อนนำไปผสมในอัตราส่วนที่ต้องการศึกษา บดส่วนผสมแล้วเกลี่ยบนแผ่นพลาสติกแรปแล้วตัดโดยใช้พิมพ์ตัดคุกกี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 เซนติเมตร แล้วนำไปตากให้แห้งโดยใช้แสงแดดเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทอดในน้ำมันปาล์มที่ 180 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะถูกเก็บไว้ในถุงซิปล็อคก่อนนำไปวิเคราะห์ค่าความกรอบของโดยใช้เครื่องวิเคราะห์พื้นผิวและค่าสีโดยใช้เครื่องวัดสี ผลการศึกษาพบว่า แผ่นข้าวตังกรอบที่ผ่านการทอดแล้วมีค่าความชื้นอยู่ระหว่างร้อยละ 2.13 – 2.40 ค่าความกรอบของข้าวเกรียบอยู่ระหว่าง 4.58±1.80 – 6.86±2.31 N โดยพบค่าต่ำสุดในสูตรที่ 1 และสูตรที่ 4 มีค่าความกรอบสูงสุด นอกจากนี้การศึกษาพบว่าค่าความสว่าง (L*) จากการวิเคราะห์ค่าสีด้วยระบบ CIE พบว่า ค่าความสว่างจะแปรผกผันกับปริมาณข้าวก่ำดอยสะเก็ดในสูตร

คำสำคัญ: ข้าวตัง, ข้าวก่ำดอยสะเก็ด, ความกรอบ, ค่าสี

ABSTRACT

Thailand is one of the world major rice producer which produces various rice varieties. This study aims to develop rice cracker from local ingredients including RD43 white rice, rice flour, and local black glutinous rice (Khao kam Doisaket) which are local ingredient with high nutritional value. A total of five ratios were studied including formulation 1 (1:1:8), formulation 2 (3:1:6), formulation 3 (5:1:4), formulation 4 (7:1:2), and formulation 5 (9:1:0). All ingredients were cooked and weighed before mixing to the studied ratios. The mixture was mashed then spread on a plastic wrap sheet and cut using a 4.5 cm diameter cookie cutter. The mixture was dried under sunlight for 48 hours and deep-fried in palm oil at 180 °C. The final products were kept in zip-lock bags for further evaluation. The rice crackers were analyzed for their instrumental fracturability using a texture analyzer and color using colorimeter. The results showed that the moisture content of the fried rice cracker ranged between 2.13 – 2.40. The rice cracker fracturability ranged from 4.58±1.80 to 6.86±2.31 N where the lowest was found in formulation 1 and formulation 4 showed the highest fracturability. In addition, the study found that the brightness (L*) from the CIE color analysis showed that the brightness was inversely proportional to the amount of Khao Kam Doi Saket in the formula.

Keywords: Rice Cracker, Thai Black Glutinous Rice, Crispness, Color

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศเกษตรกรรมและเป็นแหล่งอาหารสำคัญของโลก นอกจากข้าวที่ส่งออกเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แล้ว ประเทศไทยยังมีเอกลักษณ์ของข้าวเชิงพื้นที่ซึ่งส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและรสชาติมีความแตกต่างกันตามเขตภูมิศาสตร์ ในปี 2554 กรมการข้าวได้มีการขึ้นทะเบียน ข้าวสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์หรือข้าวจีไอ (Geographical Indication ; GI) สำหรับข้าวทั้งหมด 15 สายพันธุ์ ที่เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของคนในชุมชนที่เกี่ยวข้องกับภูมิศาสตร์นั้นและภูมิปัญญาของคนในชุมชนในการผลิตสินค้า ซึ่ง 1 ใน 15 สายพันธุ์ที่ได้รับคัดเลือก ได้แก่ “ข้าวก่ำดอยสะเก็ด” ซึ่งเป็นผลผลิตข้าวหนึ่งในเขตภูมิภาคภาคเหนือตอนบนที่สามารถปลูกได้ในอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ลำต้นมีลักษณะเป็นสีม่วงเข้มหรือสีดำ เปลือกเมล็ดสีม่วง เมล็ดข้าวกล้องสีม่วงขนาดเมล็ดกว้างประมาณ 3.3 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 9.7 มิลลิเมตร หนาประมาณ 1.91 มิลลิเมตร เป็นข้าวที่มีเมล็ดข้าวสีม่วงหรือสีดำมีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารแกมมาโอรีซานอล (gamma-oryzanol) สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และมีวิตามินอี (vitamin E) ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายระดับสูง

เนื่องจากความสนใจในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพนั้นเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารว่างที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น อาหารที่มีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemix Index: GI) ไม่สูง และนอกจากข้าวก่ำดอยสะเก็ดแล้ว ประเทศไทยยังมีข้าวสายพันธุ์ กข43 ซึ่งได้รับการพัฒนาสายพันธุ์โดยมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ในระดับปานกลาง

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น ทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาพัฒนาสูตรในการผลิตข้าวตังแผ่นทอดกรอบ โดยการใช้วัตถุดิบเป็นข้าวก่ำดอยสะเก็ดผสมกับข้าวกข43 พร้อมกับศึกษาสมบัติทางกายภาพหลังการขึ้นรูปและทอดกรอบ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างมูลค่าเพิ่มและการแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวก่ำดอยสะเก็ด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาสูตรข้าวตังแผ่นทอดกรอบจากข้าวก่ำดอยสะเก็ดและข้าวกข43

(2) เพื่อวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของข้าวตังแผ่นทอดกรอบ

3. การทบทวนวรรณกรรม

ข้าวตังดิบ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการน้ำข้าวสุกที่ติดเป็นแผ่นอยู่ก้นหม้อ หรือกระทะ มาทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือแหล่งพลังงานอื่น หรือได้จากการนำข้าว เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว มาล้างให้สะอาด หุงสุก อาจนำมาบดหยาบแล้วผสมน้ำแป้ง เช่น น้ำแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการต้มจนสุก อาจเติมส่วนประกอบอื่น เช่น ชาเขียว สมุนไพร แล้วทำให้เป็นแผ่นบางหรือรูปทรงอื่น ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ หรือแหล่งพลังงานอื่น (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวตังดิบ, 2554)

ภาพที่ 1 แผ่นข้าวตังทอดกรอบ

ข้าวก่ำดอยสะเก็ด เป็นข้าวเหนียวดำที่มีเมล็ดสีม่วงเข้ม ขนาดเมล็ดกว้างประมาณ 3.3 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 9.7 มิลลิเมตร หนาประมาณ 1.91 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 2 ข้าวก่ำหรือข้าวเหนียวก่ำมักจะถูกนำมาใช้บริโภคเป็นอาหาร อีกทั้งยังนิยมใช้เป็นส่วนผสมหลักในการทำขนมต่างๆ และนำไปใช้เป็นสมุนไพร เช่น ใช้ทำเป็นข้าวหลามรักษาโรคท้องร่วง หรือใช้รักษาอาการตกเลือดของหญิงคลอดลูก จึงนับ ว่าเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนาทางโภชนศาสตร์ เกษตรและเภสัชศาสตร์ จากการวิจัยพบว่าข้าวก่ำดอยสะเก็ดมีสารที่เป็นประโยชน์ คือ แกรมมาโอไรซานอล (gamma-oryzanol) สูงกว่าข้าวขาว 2-3 เท่า และยังมีสารสีที่พบในข้าวก่ำ คือ โปรแอนโทไซยานิดินและสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และมีวิตามินอีในระดับที่สูง นอกจากนี้งานวิจัยยังพบว่าแกรมมาโอไรซานอลเมื่อทำงานร่วมกับแอนโทไซยานินจะมีคุณสมบัติโดดเด่นในการต้านอนุมูลอิสระ สารชะลอความแก่ เพิ่มภูมิคุ้มกัน และลดคอเลสเตอรอล ป้องกันการเกิดมะเร็ง โรคอ้วน ความดัน โรคหัวใจ และความจำเสื่อม (พีรนันท์และคณะ, 2014)

ภาพที่ 2 ข้าวก่ำดอยสะเก็ด

ข้าว กข43 เป็นชื่อพันธุ์ข้าวเจ้า ข้าวขาว ที่มีความโดดเด่นเรื่องดัชนีน้ำตาลปานกลางค่อนข้างต่ำ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa L.* ไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยวสั้น ประมาณ 95 วัน ข้าว กข 43 มีคุณสมบัติพิเศษ คือ มีค่าดัชนีน้ำตาลต่ำกว่าข้าวอื่น ๆ ทั่วไป เช่น ข้าว กข 15 มีดัชนีน้ำตาลที่ 69.1 ข้าวพิษณุโลก 80 ค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ที่ 59.5 แต่สำหรับข้าว กข 43 จะมีค่าดัชนีน้ำตาลอยู่ที่ 57.5 (Nilkamheang, 2021) นอกจากนี้ยังมีค่าอะมิโลสต่ำ (ค่าที่สามารถระบุความนุ่มเหนียว และร่วนแข็งของข้าวได้ ค่าอะมิโลสยิ่งต่ำ ข้าวยิ่งนุ่ม) อยู่ที่ 18.82 % (ระดับที่เหมาะสมคือ 10-19) ทำให้ข้าว กข 43 มีความอ่อนนุ่ม รับประทานง่าย (ใกล้เคียงข้าวหอมดอกมะลิ 105) (ศูนย์ข้อมูลข้าวตลาดเฉพาะ, 2022)

ภาพที่ 3 ข้าว กข 43

การวัดความกรอบของวัสดุ

ความกรอบ หรือ crispness บางครั้งอาจใช้คำว่า brittleness เป็นสมบัติด้านเนื้อสัมผัสที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกันพร้อมกับการเกิดเสียง สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินหรือวัดลักษณะเนื้อสัมผัส มีลักษณะเฉพาะซึ่งขึ้นกับวิธีการวัดคุณสมบัติทางกายภาพในสารหรือวัสดุนั้นๆ ในการประเมินความกรอบของวัสดุนั้น จะประเมินจาก fracturability หรือแรงที่ทำให้ตัวอย่างแตกออกจากกัน มักเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมากแต่การยึดเกาะตัวน้อย ค่านี้มีความสัมพันธ์กับค่าความเปราะ (brittleness) ซึ่งคุณสมบัตินี้มักใช้เพื่ออธิบายเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ประเภท ขนมอบ (bakery) ของขบเคี้ยว หรือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของแห้งกรอบ ในงานวิจัยนี้ใช้ วิธีการเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ (imitative measurement) วิธีการนี้จะออกแบบเครื่องมือให้มีหลักการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์ โดยเป็นเครื่องมือแบบเดียวกันกับวิธีการวัดค่าพื้นฐานทางวัสดุศาสตร์ที่สามารถหาค่าแรงกับระยะทาง หรือความเค้นกับความเครียดได้

ภาพที่ 4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer)

การวัดค่าสีของวัสดุ

กรวัดค่าสีถูกพัฒนาขึ้นโดยองค์กรที่มีชื่อว่า International Commission of Illumination (CIE) เพื่อให้มีความเป็นมาตรฐานและลดความไม่เป็นกลางเนื่องจากปัจจัยของแหล่งกำเนิดแสงและผู้สังเกตการณ์ ในปัจจุบันระบบการวัดค่าสีที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่นิยมคือระบบ L*-a*-b* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบสามมิติ โดยที่ ค่า L* จะบรรยายถึงความสว่าง จากค่า +L* (แสดงสีขาว) ไปจนถึง -L* (แสดงสีดำ) ค่า a*จะบรรยายถึงสีแดงหรือสีเขียว จากค่า +a* (แสดงสีแดง) ไปจนถึง -a* (แสดงสีเขียว) ค่า b*จะบรรยายถึงสีแดงหรือสีเขียว จากค่า +b* (แสดงสีเหลือง) ไปจนถึง -b* (แสดงสีน้ำเงิน)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมข้าวก่ำดอยสะเก็ด ข้าว กข43 และแป้งข้าวเจ้า

การเตรียมข้าวก่ำดอยสะเก็ด

นำข้าวก่ำดอยสะเก็ดมาล้างด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง เพื่อคัดแยกสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ จากนั้นแช่ในน้ำสะอาด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วให้นำกระชอนกรองเอาน้ำออก นึ่งด้วยลังถึงที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที เมื่อครบเวลานำข้าวก่ำดอยสะเก็ดที่ผ่านการนึ่งบรรจุในผ้าขาวบางเก็บในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิด เพื่อรอดำเนินการขั้นต่อไป

การเตรียมข้าว กข43

นำข้าวขาว กข43 มาล้างด้วยน้ำสะอาด ทั้งหมด 4 ครั้ง เพื่อคัดแยกสิ่งแปลกปลอมและเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ จากนั้นหุงด้วยหม้อหุงข้าวที่ใช้ในครัวเรือนโดยกำหนดข้าว กข43 น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ใช้น้ำสะอาดในการหุงข้าว 2.5 ลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เมื่อครบเวลานำข้าว กข43 ที่ผ่านการหุงบรรจุในผ้าขาวบางเก็บในภาชนะพลาสติกที่มีฝาปิด เพื่อรอดำเนินการขั้นต่อไป

การเตรียมแป้งข้าวเจ้า

นำแป้งข้าวเจ้า น้ำหนัก 1 กิโลกรัม ผสมกับน้ำสะอาด ปริมาตร 2 ลิตร คนจนแป้งละลายในน้ำ ตั้งเตาไฟควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที เคี่ยวแป้งข้าวเจ้ากับน้ำจนมีลักษณะเป็นเจล ปิดไฟ และพักไว้เพื่อดำเนินการขั้นต่อไป

4.2 สูตรการผลิตและการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบ

กำหนดสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบ ที่มีอัตราส่วนผสมระหว่าง ข้าว กข 43 : แป้งข้าวเจ้า : ข้าวก่ำดอยสะเก็ด ทั้งหมด 5 สูตรการผลิต ดังนี้ สูตรที่ 1 1:1:8 สูตรที่ 2 3:1:6 สูตรที่ 3 5:1:4 สูตรที่ 4 7:1:2 และสูตรที่ 5 9:1:0 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบ ทั้งหมด 5 สูตร

สูตรที่	น้ำหนัก (กรัม)		
	ข้าว กข 43	แป้งข้าวเจ้า	ข้าวก่ำดอยสะเก็ด
1	100	100	800
2	300	100	600
3	500	100	400
4	700	100	200
5	900	100	0

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมดังตารางที่ 1 จากนั้นนำส่วนผสมแต่ละสูตรนวดผสมให้เข้ากันจนมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมารีดเป็นแผ่นใหญ่ให้มีความหนา 1.50 มิลลิเมตร กดด้วยพิมพ์สแตนเลส แบบวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 มิลลิเมตร นำแผ่นข้าวตังตากแดดให้แห้งเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทอดด้วยน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เวลา 30 วินาที เมื่อแผ่นข้าวตังทอดกรอบสุก ตักขึ้นสะเด็ดน้ำมัน พักตัวอย่างให้เย็น เก็บในถุงบรรจุภัณฑ์เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ

4.3 วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ของผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบ

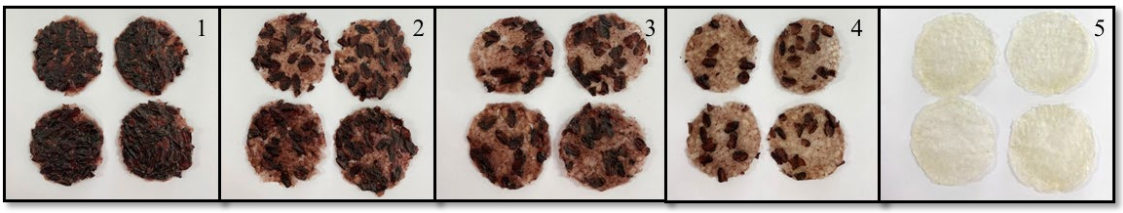
นำข้าวตังแผ่นทอดกรอบ วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีโดยใช้เครื่อง Colorimeter รุ่น Hunter Lab Color Flex EZ ยี่ห้อ Hunter Lab และวิเคราะห์ค่าความกรอบ โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น CT3 Texture Analyzer ยี่ห้อ Brookfield และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ด้วยเครื่อง Moisture analyzer รุ่น DSH-10A-10 ยี่ห้อ Drawell โดยห้องปฏิบัติการทดสอบคุณสมบัติอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

4.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan 's multiple range test

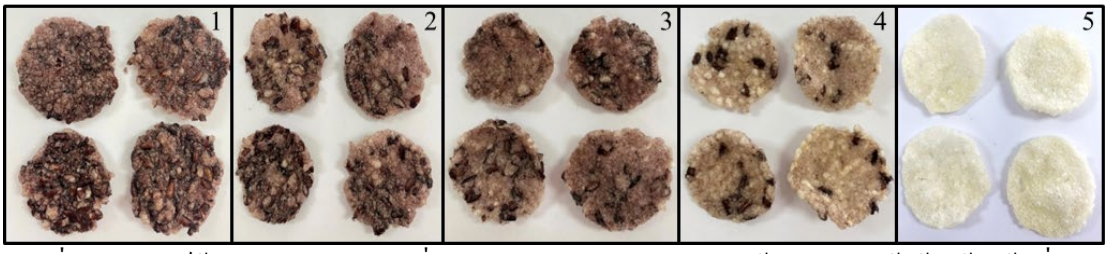
5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษา การผลิตข้าวตังแผ่นทอดกรอบ ทั้ง 5 สูตร ที่มีความแตกต่างกันด้านอัตราส่วนผสมระหว่าง ข้าวกข 43 : แป้งข้าวเจ้า : ข้าวก่ำดอยสะเก็ด ได้แก่ สูตรที่1 1:1:8 สูตรที่ 2 3:1:6 สูตรที่ 3 5:1:4 สูตรที่ 4 7:1:2 และสูตรที่ 5 9:1:0 ตามลำดับ พบว่า ทุกสูตรการผลิตสามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นข้าวตังให้เป็นวงกลมได้ แต่มีความแตกต่างกันเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า โดยแผ่นข้าวตังก่อนทอดทั้ง 5 สูตรจะมีลักษณะแผ่นที่มีความแข็งและบาง มีสีม่วงเข้มตามอัตราส่วนการผสมข้าวก่ำดอยสะเก็ด จะเห็นว่าสูตรที่มีการผสมข้าวก่ำดอยสะเก็ดในอัตราส่วนที่มาก แผ่นข้าวตังจะมีสีม่วงเข้ม ดังภาพที่ 5 (1) และอัตราส่วนที่ไม่มีการผสมข้าวก่ำดอยสะเก็ดจะแสดงแผ่นข้าวตังที่มีสีขาว ดังภาพที่ 5 (5) และสีม่วงเข้มที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของข้าวก่ำที่ผสมลงไปก่อนการขึ้นรูปเป็นแผ่นข้าวตังดิบ (ข้าวตังแผ่นก่อนทอด) ดังภาพที่ 5 (1)-(5)



ภาพที่ 5 ผลิตภัณฑ์ข้าวตังก่อนทอด ที่อัตราส่วนของส่วนผสมระหว่าง ข้าวกข 34 : แป้งข้าวเจ้า : ข้าวก่ำดอยสะเก็ด ทั้งหมด 5 สูตร ดังนี้ (1) สูตรที่ 1:1:8 (2) สูตรที่ 2 3:1:6 (3) สูตรที่ 3 5:1:4 (4) สูตรที่ 4 7:1:2 และ(5) สูตรที่ 5 9:1:0

ในขณะที่หลังจากนำข้าวตังแผ่นดิบไปทอดกรอบจะพบว่า ทุกสูตรมีการพองตัวเพิ่มขึ้นจากเดิมเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า โดยผิวสัมผัสของแผ่นข้าวตังทอดกรอบไม่เรียบ และมีความฟูของเมล็ดข้าว ดังภาพที่ 6 (1)-(5)



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบ ที่อัตราส่วนของส่วนผสมระหว่าง ข้าวกข 34 : แป้งข้าวเจ้า : ข้าวก่ำดอยสะเก็ด ทั้งหมด 5 สูตร ดังนี้ (1)สูตรที่ 1:1:8 (2)สูตรที่ 2 3:1:6 (3)สูตรที่ 3 5:1:4 (4)สูตรที่ 4 7:1:2 และ (5)สูตรที่ 5 9:1:0

จากการวิเคราะห์ค่าความชื้น พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวตังทอดกรอบจะมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.13 – 2.40 แสดงผลดังตารางที่ 2 ซึ่งไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ทุกสูตร การลดปริมาณความชื้นให้เหลือน้อยที่สุดก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารหลังการทอดมีความกรอบมากขึ้น

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวตังแผ่นทอดกรอบ ด้านร้อยละของความชื้น ค่าความกรอบ และค่าสี ตาม CIE L*a*b*

สูตรที่	ค่าความชื้น (%)	ค่าความกรอบ (N)	ค่าสี		
			L*	a*	b*
1	$2.13^{a}\pm1.12$	$4.58^{e}\pm1.80$	$31.52^{c}\pm3.96$	$7.42^{a}\pm1.04$	$3.50^{b}\pm0.87$
2	$2.23^{a}\pm0.40$	$5.22^{cd}\pm2.25$	$32.04^{c}\pm3.58$	$7.12^{a}\pm0.48$	$4.83^{b}\pm0.94$
3	$2.13^{a}\pm0.23$	$6.26^{ab}\pm2.39$	$33.03^{c}\pm3.83$	$5.94^{b}\pm0.19$	$5.39^{b}\pm0.94$
4	$2.37^{a}\pm0.21$	$6.86^{a}\pm2.31$	$48.14^{b}\pm1.66$	$4.84^{c}\pm0.54$	$10.56^{a}\pm1.73$
5	$2.40^{a}\pm0.00$	$5.63^{bc}\pm2.29$	$66.86^{a}\pm11.41$	$-0.42^{d}\pm0.41$	$11.13^{a}\pm1.27$

หมายเหตุ : - ตัวยกในคอลัมน์ต่างๆ แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $p < 0.05$

- อัตราส่วนของส่วนผสมระหว่าง ข้าวกข 34: แป้งข้าวเจ้า: ข้าวก่ำดอยสะเก็ด สูตรที่ 1:1:8 สูตรที่ 2 3:1:6 สูตรที่ 3 5:1:4 สูตรที่ 4 7:1:2 และสูตรที่ 5 9:1:0

เมื่อทำการทดสอบค่าความกรอบด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) พบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบในทุกสูตรจะมีค่าแรงกดที่ก่อให้เกิดการแตกหัก (fracturability) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) โดยผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบจะมีค่าความกรอบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.86 – 4.58 นิวตัน แสดงผลดังตารางที่ 2 เห็นได้ว่าสูตรที่ 1 จะมีค่าแรงกดต่ำที่สุด เท่ากับ 4.58 นิวตัน แสดงว่าผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบมีความกรอบมากที่สุด ในขณะที่สูตรที่ 4 จะมีค่าแรงกดสูงที่สุด เท่ากับ 6.86 นิวตันแสดงว่าผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบมีความกรอบน้อยที่สุด เนื่องจากปกติเมื่อมีการหุงข้าวเพื่อให้สุกจะเกิดกระบวนการเจลาติน (gelatinization) (Park, Chae, & Yoon, 2009) โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพที่จะทำให้ข้าวนั้นแข็งขึ้นเมื่อมีการสูญเสียน้ำออกไป (Prajongwate S., et al., 2019)

จากการวิเคราะห์ผลของค่าสีพบว่า ข้าวตังแผ่นทอดกรอบทั้ง 5 สูตรมีค่าสีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) แสดงผลดังตารางที่ 1 โดยมีแนวโน้มค่าความสว่างลดลงตามปริมาณของข้าวก่ำที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าสี L* อยู่ในช่วงระหว่าง 66.86 - 31.52 สูตรที่ 5 จะแสดงค่าสีขาวมากที่สุด เท่ากับ 66.86 เนื่องจากมีอัตราส่วนการผสมข้าวก่ำน้อย และสูตรที่ 1 จะแสดงค่าสีขาวน้อยที่สุด เท่ากับ 31.52 ดังภาพที่ 5-6 (1) เพราะมีอัตราส่วนการผสมข้าวก่ำในปริมาณที่มากกว่า โดยแนวโน้มของค่าสีที่เข้มขึ้นจะสัมพันธ์กับปริมาณอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของข้าวก่ำ เนื่องจากในข้าวก่ำจะมีสีม่วงจากสารแอนโธไซยานินซึ่งมีองค์ประกอบของไซยาดินิน (cyadinin) และพีโอนิดิน (peonidin) ซึ่งพบบนชั้นผิวของเมล็ดข้าวหรือรำข้าว (Leardkamolkarn et al., 2011; Sirichokworrakit et al., 2015)

6. สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้จะเห็นได้ว่า ข้าวก่ำดอยสะเก็ดสามารถนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นได้ จากอัตราส่วนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่า การผลิตข้าวตังแผ่นทอดกรอบสามารถทำได้ง่ายและขึ้นรูปเป็นแผ่นกลมพอดีคำได้ดี ตลอดจนยังมีความชื้นเป็นไปตามเกณฑ์อาหารแห้ง (ไม่เกินร้อยละ 10) ข้าวตังแผ่นทอดกรอบจะมีค่าความกรอบอยู่ในช่วงระหว่าง 6.86 – 4.58 นิวตัน ขึ้นอยู่กับสูตรการผลิต และ พบว่าค่าสีมีความสัมพันธ์กับปริมาณข้าวก่ำดอยสะเก็ดที่เป็นส่วนผสมในปริมาณเพิ่มขึ้น โดยค่าสว่างมากที่สุด เท่ากับ 66.86 เมื่อไม่มีการเติมข้าวก่ำดอยสะเก็ดและมีค่าความสว่างต่ำสุดี่ 31.52 เมื่อมีการผสมข้าวก่ำดอยสะเก็ดมากที่สุด

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) นักวิจัยและผู้สนใจด้านงานวิจัยสามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) การวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ข้าวตังแผ่นทอดกรอบจะสามารถเป็นแนวทางในการสนับสนุนข้อมูลด้านความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ได้ดี

(2) หากต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเชิงหน้าที่ การวัดค่า GI ถือเป็นแนวทางในการนำข้อมูลเพื่อใช้ในการต่อยอดงานวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาในการอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัยและสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยผ่าน ทุน Fundamental Funds'65

9. เอกสารอ้างอิง

พีรนันท์ มาป้น และ คณะ. (2014). การคัดเลือกในชั่วต้นเพื่อลักษณะแอนโทไซยานินในเมล็ดและไม่ไวต่อแสงในลูกผสมชั่วที่ 2 ระหว่างข้าวพันธุ์ก่ำดอยสะเก็ดและปทุมธานี. *วารสารนเรศวรพะเยา*, *7*(2), 160-171.

ศูนย์ข้อมูลข้าวตลาดเฉพาะ. (2022). *ข้าว กข43.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 กันยายน 2565, จาก : https://www.thairicedb.com/rice-detail.php?id=27.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2010). *ข้าวตัง.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 28 กันยายน 2565, จาก: https://shorturl.asia/yCJM3.

Leardkamolkarn, V., Thongthep, W., Suttiarporn, P., Kongkachuichai, R., Wongpornchai, S., and Wanavijitr, A. (2011). Chemopreventive properties of the bran extracted from a newly-developed Thai rice: The Riceberry. *Food Chemistry, 125*, 978–985.

Nilkamheang, T. (2021). Evaluation of the glycemic index of RD43-rice, and its products by means of in vitro glucose digestion mimic techniques. *Journal of Food Technology, Siam University*, *16*(1), 59–77.

Park, J. W., Chae, S. H., & Yoon, S. (2009). The effects of steeping and cooking pressure on qualities of cooked brown rice. *Journal of the Korean Society of Food Culture*, *24*, 69-76.

Prajongwate S., Vipa S., Ngamjit L., Rattanawan M., and Sarocha D. (2019). Development of Ready-to-Eat Color Rice Product Enriched With Natural Amino Acids. *Journal of Agricultural Science*, *11*(13), 56-63.

ผลของการให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสงของสลัดคอส

EFFECT OF FOLIAR APPLICATIONS OF MAGNESIUM ON CHLOROPHYLL CONTENT AND PHOTOSYNTHESIS OF LETTUCE COS

กิตติพัฒน์ ถาใหม่
โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
E-mail: 25kittiphat25@gmail.com
อิทธิวัฒน์ ภูษณะพงษ์
โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
E-mail: jobgkl1457@gmail.com
ประภาศิริ สืบหิรัญ
โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
E-mail: praphasiri1301@gmail.com
พัชรพงศ์ ทังสุนันท์
ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางโรคติดเชื้อในปลา ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: tbscience@gmail.com
ธีระ วัชระมงคล
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี
E-mail: teerawat@kru.ac.th

บทคัดย่อ

สลัดคอสเป็นผลผลิตทางการเกษตร โดยสีใบของสลัดคอสเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลต่อความต้องการซื้อของผู้บริโภค ซึ่งการจะทำให้สลัดคอสยังรักษาความสีเขียวในใบได้ก็ต่อเมื่อพืชไม่ขาดแมกนีเซียมจึงต้องมีการให้แมกนีเซียมทางใบเพื่อทดแทนการขาดแมกนีเซียมนั้นเอง งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาหาวิธีการให้แมกนีเซียมที่เหมาะสมที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยวิธีการให้แมกนีเซียมทางใบเป็นวิธีที่หนึ่งในการให้แมกนีเซียมที่มีประสิทธิภาพ งานวิจัยจึงศึกษามีวิธีการให้แมกนีเซียมทางใบโดยการพ่นสารละลายแมกนีเซียมที่ละลายในน้ำและอิมัลชันของแมกนีเซียมที่ละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำ แล้วทำการล้างและไม่ล้างใบของสลัดคอสหลังจากฉีดที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งแสดงถึงความเขียวของใบและค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสง จากผลการทดลองพบว่าการให้แมกนีเซียมทางใบทั้ง 2 วิธีสามารถทดแทนการขาดแมกนีเซียมได้โดยส่งผลต่อค่าคลอโรฟิลล์ที่เพิ่มขึ้นโดยตรง

และการให้แมกนีเซียมทั้ง 2 วิธีแล้วล้างด้วยน้ำยิ่งทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น โดยความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียมที่ 0.25 กรัมต่อลิตรเพียงพอแล้ว เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ได้อย่างมีค่านัยสำคัญเหมือนกัน แต่ไม่มีผลต่อค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์โดยตรง ดังนั้นการให้แมกนีเซียมทางใบด้วยแมกนีเซียมที่ละลายในน้ำและที่ละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำแล้วล้างด้วยน้ำเป็นวิธีที่เหมาะสมในการทดแทนแมกนีเซียมที่ทำให้ใบมีความเขียวลดลงได้

คำสำคัญ: สลัดคอส, แมกนีเซียม, สารอาหารทางใบ, คลอโรฟิลล์, สังเคราะห์แสง

ABSTRACT

Lettuce Cos is an agricultural product. The leaves have a significant impact on customer demand. To stabilize the greenness of the leaves, magnesium in leaf must be maintain by magnesium substitution. Therefore, many studies focus on suitable magnesium application and one of the most effective ways is foliar application. This research aimed to study the methods of foliar application of magnesium by spraying magnesium dissolved in water and emulsion of magnesium which was dissolved in water in oil in water, and then rinsing and non-rinsing the leaves. The study investigated chlorophyll content indicating greenness of the leaf and chlorophyll fluorescence reflecting photosynthetic efficiency. The results showed that foliar applications with magnesium dissolved in water and emulsion of magnesium directly increased chlorophyll content. Additionally, both approaches with water rinsing enhanced the chlorophyll content. Applying 0.25 mg/L of magnesium in these solutions was sufficient because of significant increase of chlorophyll content but it had not directly affect the chlorophyll fluorescence. Hence, foliar application of magnesium dissolved in water and dissolved in water in oil in water and then rinsed with water is a practical way to substitute magnesium deficiency that reduces leaf greenness.

Keywords: Lettuce Cos, Magnesium, foliar nutrients, Chlorophyll, Photosynthesis

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

แมกนีเซียมเป็นเป็นธาตุอาหารรองที่มีความสำคัญต่อพืช เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบสำคัญของคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นสารสำคัญในปฏิกิริยาแสง (light reaction) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง รวมถึงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่สำคัญโดยเฉพาะเอนไซม์อย่าง Rubisco, PEP carboxylase (Pataranutaporn, 2556) ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Fixation) ซึ่งเป็นอีกขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2556) ดังนั้นหากพืชขาดหรือปริมาณแมกนีเซียมมีไม่เพียงพอจะทำให้พืชมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความเขียวในใบพืชและยังคงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชด้วย โดยหากขาดแมกนีเซียมจะทำให้พืชมีอาการใบสีเหลืองระหว่างเส้นใบ และเนื้อเยื่อใบจะตายเป็นหย่อม ๆ และใบอาจมีสีเขียวเป็นรูปตัววี โดยสลัดคอส (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) เป็นสลัดชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยม เนื่องจากใบที่มีสีเขียวและมีลักษณะเรียวยาวแตกต่างจากสลัดชนิดอื่น ดังนั้นสีเขียวของใบพืชชนิดนี้จึงมีความสำคัญในการเลือกบริโภค หากใบพืชมีสีเหลืองหรือสีใบซีดจางรวมถึงลักษณะขอบใบเป็นสี

น้ำตาลปลายใบแห้งจากการขาดสารอาหารของพืชจะส่งผลต่อโดยตรงต่อการตัดสินใจเลือกซื้อของผู้บริโภคและผลกำไรของผู้ผลิต (ธีระพงศ์ จันทรนิยม, 2556) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวิธีการให้แมกนีเซียมเพื่อทำให้สลัดคอสยังคงสีเขียวเพื่อให้ยังคงมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง การให้ธาตุอาหารทางใบเป็นวิธีการหนึ่งในการให้ธาตุอาหารที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะแมกนีเซียมเนื่องจากการให้แมกนีเซียมทางใบจะทำให้พืชจะได้รับแมกนีเซียมได้รวดเร็ว เพราะการให้แมกนีเซียมทางใบมีระยะทางในการลำเลียงแมกนีเซียมไปเพื่อสังเคราะห์เป็นคลอโรฟิลล์ในใบสั้นกว่าการให้แมกนีเซียมทางดิน รวมทั้งพืชจะได้รับแมกนีเซียมในปริมาณที่มากกว่าเนื่องจากธาตุอาหารจะไม่สูญเสียไปในการยึดติดกับดิน (Karny, 2561)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาวิธีการให้แมกนีเซียมทางใบที่ส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และประสิทธิภาพการสังเคราะห์ด้วยแสงในสลัดคอส

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การให้ธาตุอาหารทางใบ

การให้ธาตุอาหารทางใบ โดยทั่วไปจะเป็นการให้ธาตุอาหารทางใบเป็นการเพิ่มธาตุอาหารให้แก่พืชนอกเหนือจากการได้รับจากราก การให้ธาตุอาหารทางใบส่วนใหญ่จะเป็นการให้ธาตุอาหารในรูปของสารละลายเจือจาง ผ่านวิธีการพ่นสารละลายเป็นละอองฝอยไปยังใบและลำต้น เพื่อให้พืชดูดไปใช้ประโยชน์โดยตรง สารละลายดังกล่าวที่มีโมเลกุลหรือไอออนของธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์สัมผัสกับใบและลำต้นของพืชจะเกิดการเคลื่อนย้ายของธาตุอาหารเข้าภายในใบหรือลำต้น ผ่านทางผิวใบ ผิวลำต้น และช่องเปิดต่างๆ เช่น ปากใบ รอยแตกของคิวทิเคิล (cuticle) ซึ่งเป็นสารเคลือบใบ และเลนทิเซล (lenticel) ซึ่งเป็นรอยแตกในลำต้น เป็นต้น (ยงยุทธ โอสถสภา, 2549)

3.2 อิมัลชัน

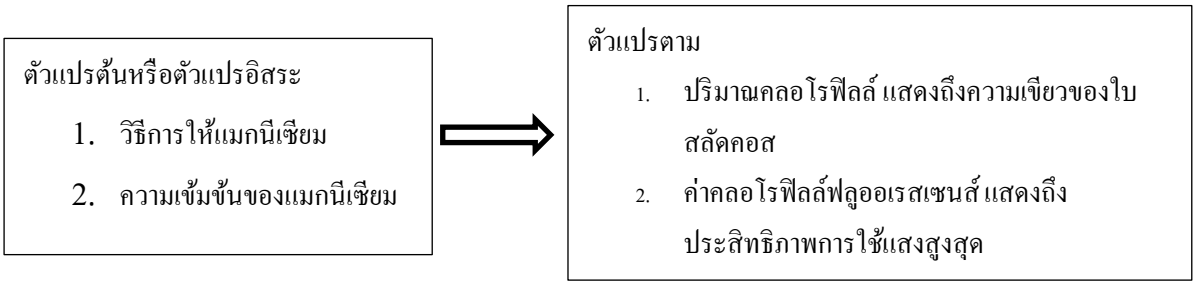
อิมัลชันเป็นระบบที่ประกอบด้วยของเหลวตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่ไม่ผสมกัน เช่น น้ำมันกับน้ำ ส่วนหนึ่งแตกตัวเป็นหยดขนาดเล็ก เรียกวัฏภาคภายในที่กระจายตัวแทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า วัฏภาคภายนอก โดยสามารถแบ่งเป็น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion, O/W) ซึ่งมีน้ำมันเป็นวัฏภาคภายในและน้ำเป็นวัฏภาคภายนอก อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion, W/O) ซึ่งมีน้ำเป็นวัฏภาคภายในและน้ำมันเป็นวัฏภาคภายนอก และอิมัลชันเชิงซ้อน (multiple emulsion) เช่น อิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมันในน้ำ (water-in-oil-in-water emulsion, W/O/W) อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำในน้ำมัน (oil-in-water-in-oil emulsion, O/W/O) ระบบนี้ใช้ในการเก็บกักสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น โดยสารที่เคลือบส่วนใหญ่จะเป็นของเหลวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา และเป็นระบบนำส่งสารในสิ่งมีชีวิตจากคุณสมบัติของน้ำและน้ำมันที่ผ่านไขมันและน้ำของเซลล์

3.3 สลัดคอส

ผักคอส หรือผักกาดโรเมนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Lactuca sativa* L. var. *longifolia* ในประเทศอังกฤษมักจะเรียกว่า “คอส” แต่ในประเทศสหรัฐอเมริกาอเมริกามักจะเรียกว่า “โรเมน” คาดกันว่ามีที่มาตั้งแต่สมัยอียิปต์ และชื่อ “คอส” นั้นถูกตั้งชื่อมาตั้งแต่สมัยกรีกโดยตั้งชื่อตามเกาะคอสของกรีกนั่นเอง จะมีลักษณะที่มีลักษณะไม่เหมือนผักสลัดประเภทอื่นๆ เพราะมีใบสีเขียวเรียวยาวเป็นผักกรอบ ไม่ค่อยมีกลิ่นเหม็นเขียวของผักเท่าไหร่นัก

ซึ่งคอสนั้นสามารถทนความร้อนได้ดี สำหรับ ผัก “คอส” มีรสชาติหวานนิยมใช้ในเมนูซีซาร์สลัด ราวกับเป็นพระเอกของเมนูคู่กับเบคอนกรอบและมาพร้อมกับน้ำสลัดรสชาติกลมกล่อม โรยด้วยพาร์เมซานชีสขูดฝอยยกระดับความอร่อยให้สุขยิ่งขึ้นกว่าที่เคย บางครั้งชาวยุโรปนิยมตุ๋นทำซุป สำหรับผักคอสขึ้นชื่อว่าเป็นผักที่ช่วยในระบบขับถ่ายเช่นเคย และเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการลดน้ำหนัก ช่วยป้องกันการเกิดมะเร็ง มีสารต้านอนุมูลอิสระ

3.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.5 สมมติฐานการวิจัย

วิธีการให้แมกนีเซียมและความเข้มข้นของแมกนีเซียมที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ในสลัดคอสที่ขาดแมกนีเซียมเพิ่มขึ้นแตกต่างกัน โดยการให้แมกนีเซียมที่ละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำจะทำให้ได้ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ในสลัดคอสที่ขาดแมกนีเซียมมีค่าสูงกว่าการให้แมกนีเซียมที่ละลายในน้ำ และเมื่อล้างด้วยน้ำแล้วจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของการให้แมกนีเซียมที่ละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำลดลง รวมทั้งการให้แมกนีเซียมที่ละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำที่ความเข้มข้นสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ในสลัดคอสที่ขาดแมกนีเซียมมีค่าสูงขึ้น

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 สารเคมีที่ใช้สำหรับอาหารสูตรโฮกแลนด์ (Hoagland solution)

$Ca(NO_3)_2$, KH_2PO_4 , $MgSO_4$, Na_2SO_4 , Na_2MoO_4 , $CuSO_4$, $ZnSO_4$, H_3BO_3 , $MnCl_2$, KNO_3 และ Fe EDTA โดยสารอาหารปริมาณ 1 ลิตร จะใช้ $Ca(NO_3)_2$ และ KNO_3 ปริมาณอย่างละ 5 ml/L , $MgSO_4$ 2 ml/L, KH_2PO_4 และ Fe EDTA อย่างละ 1.5 ml/L และ Na_2SO_4, Na_2MoO_4, $CuSO_4$, $ZnSO_4$, H_3BO_3 , $MnCl_2$ อย่างละ 1 ml

4.2 การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายแมกนีเซียมด้วยการละลายแมกนีเซียมซัลเฟตความเข้มข้น 0, 0.25, 0.5 และ 1 กรัมต่อลิตร แล้วนำมาทำสารละลายมาทำอิมัลชัน 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกคือทำแบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion) โดยการผสมน้ำมัน medium chain triglyceride (MCT) ร่วมกับ polyglycerol polyricinoleate (PGPR), โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) และเจลาติน แล้วจึงนำมาทำอิมัลชันในขั้นตอนที่ 2 แบบน้ำในน้ำมันในน้ำ (Water-in-oil-in-water emulsion) โดยผสมด้วย Tween 80.และ NaCl

4.3 วิธีการให้สารอาหาร

นำสารละลายแต่ละชนิดไปสเปรย์ลงบนใบสลัดคอสที่ปลูกในระบบไฮโดรโปรนิกส์ด้วยอาหารสูตรโฮกแลนด์ (Hoagland solution) ที่ปลูกในอาหารสูตรสมบูรณ์ในช่วงระยะเวลา 4 สัปดาห์แรกและอาหารสูตรโฮกแลนด์

ที่ขาดแมกนีเซียมให้กับสลัดคอส และในช่วงสัปดาห์ที่มีการสเปรย์สารจะมีการบันทึกผลปริมาณคลอโรฟิลล์ และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ทุกสัปดาห์เป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์

4.4 การทดลองวิธีการให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบ

ในการศึกษาวิธีการให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบจะใช้การสเปรย์สารละลายแมกนีเซียมลงบนใบสลัดคอส ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 มีวิธีการให้สาร 5 วิธี ได้แก่ 1) สเปรย์ด้วยน้ำกลั่น 2) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.25 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำ 3) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.25 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำ 4) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.5 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำ 5) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 1 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำ

ส่วนที่ 2 เป็นการสเปรย์สารละลายแมกนีซียมลงบนใบสลัดคอสแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นและไม่ล้างด้วยน้ำกลั่น มีวิธีการให้สาร 5 วิธี ได้แก่ 1) สเปรย์ด้วยน้ำกลั่น 2) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.5 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำ 3) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.5 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 4) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.5 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำ 5) สเปรย์ด้วยแมกนีเซียม 0.5 กรัมต่อลิตรละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น และทำการศึกษาปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เกิดขึ้นจากการสเปรย์สารเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์

4.5 กลุ่มตัวอย่าง

สลัดคอสที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์ด้วยอาหารสูตรที่ขาดแมกนีเซียมซึ่งสังเกตได้จากลักษณะใบและสีของใบ

4.6 เครื่องมือวิจัย

Chlorophyll Fluorometer , Chlorophyll Meter

4.7 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวัดปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ทุกสัปดาห์ตลอดระยะเวลา 5 สัปดาห์

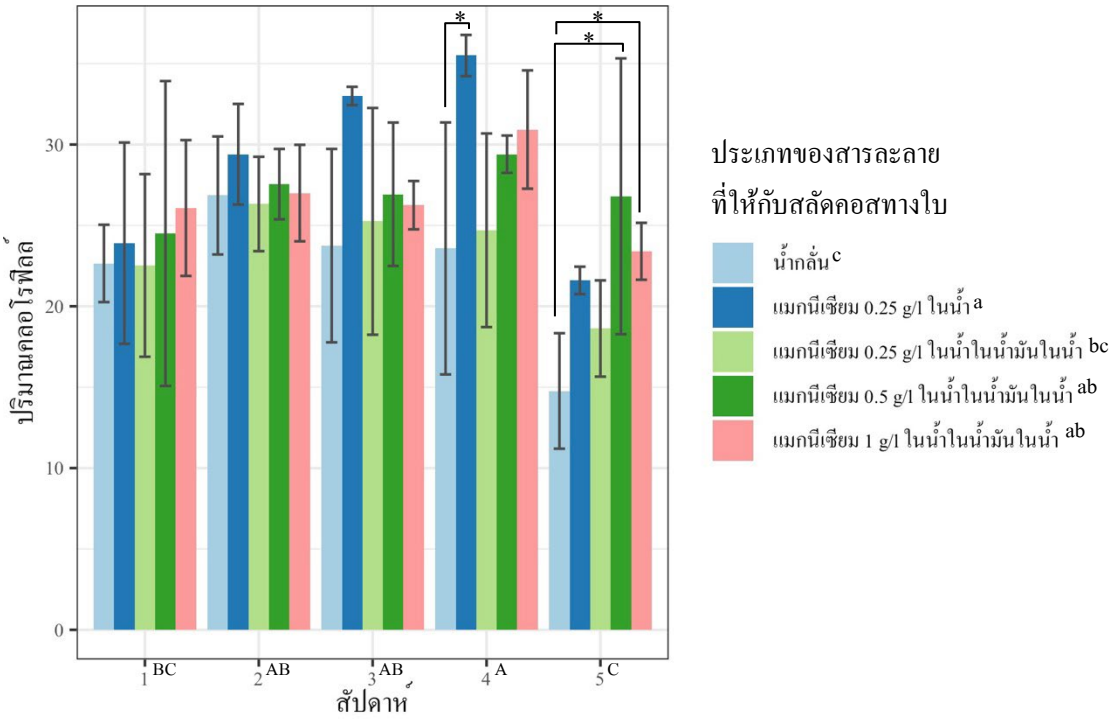
4.8 การวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืช และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ของใบพืช นำมาวิเคราะห์ทางสถิติผ่านโปรแกรม R เพื่อหาความแตกต่างระหว่างวิธีการให้แมกนีเซียมและความเข้มข้นที่ของแมกนีเซียมที่ให้เข้าใบพืช เพื่อหาวิธีการและความเข้มข้นที่เหมาะสมในการทดแทนการขาดแมกนีเซียมของสลัดคอส

5. ผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบสามารถทดแทนธาตุแมกนีเซียมที่ขาดไปในต้นสลัดคอสได้ โดยสารละลายแมกนีเซียมที่ให้ทางใบทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสลัดคอสเพิ่มขึ้นได้ ซึ่งการให้สารละลายแมกนีเซียมด้วยวิธีและความเข้มข้นที่แตกต่างกันส่งผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ของใบสลัดคอสที่แตกต่างกัน โดยการให้แมกนีเซียมละลายในน้ำที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร และการให้แมกนีเซียมละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำความเข้มข้น 0.5 และ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์สูงขึ้น รองลงมาเป็นการให้แมกนีเซียมละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร แตกต่างจากการให้น้ำกลั่นซึ่งเป็นชุดควบคุม (ภาพที่ 1 และตารางที่ 1) จากปริมาณคลอโรฟิลล์แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายแมกนีเซียม 0.25 กรัมต่อลิตรเพียงพอแล้ว เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ได้อย่างมีค่านัยสำคัญเหมือนกัน (ตารางที่ 1) แต่การให้แมกนีเซียมทุกวิธีไม่ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 2) ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาหลังจากให้แมกนีเซียมทางใบมีผลต่อ

ปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยพบว่าสัปดาห์ที่ 4 เป็นสัปดาห์ที่ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นสูงที่สุดแล้วปริมาณคลอโรฟิลล์จะลดลงในสัปดาห์ที่ 5 แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 1 (ภาพที่ 1) และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการให้สารและปริมาณธาตุอาหารในแต่ละสัปดาห์พบว่าการให้แมกนีเซียมละลายในน้ำที่ความเข้มข้น 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าคลอโรฟิลล์ฟูออเรสเซนส์เพิ่มขึ้นแตกต่างจากการให้น้ำกลั่นในสัปดาห์ที่ 4 (ภาพที่ 1 และ 2) ขณะที่วิธีการให้แมกนีเซียมละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 5 (ภาพที่ 1) แต่ทำให้ค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 4 (ภาพที่ 2)

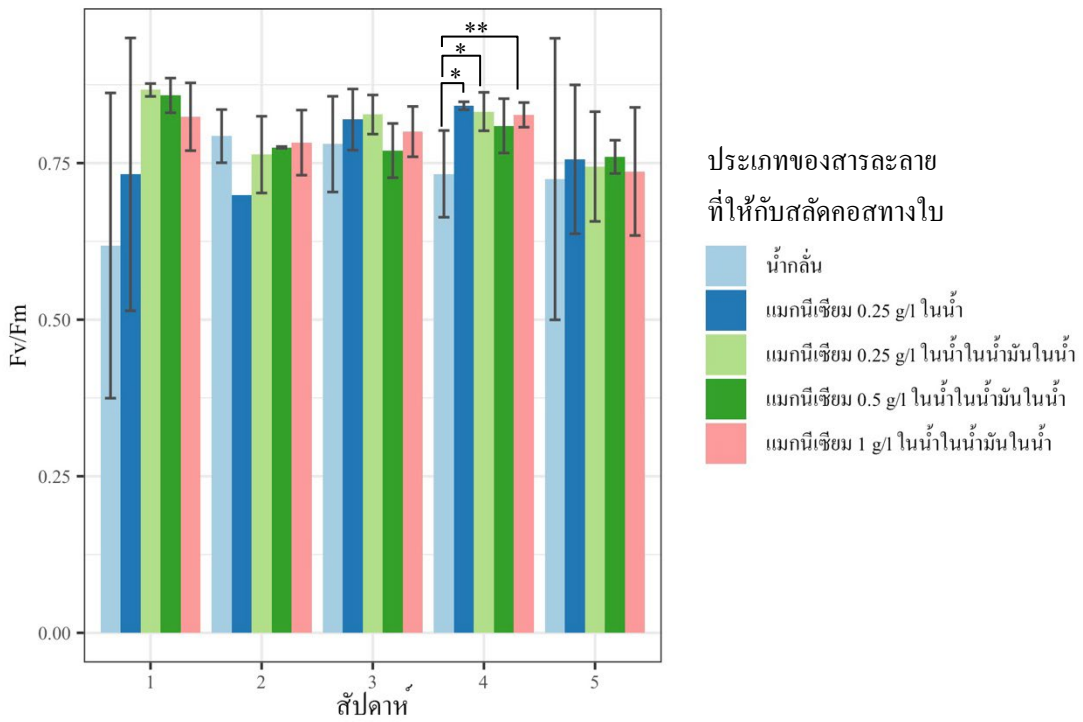


ภาพที่ 1 กราฟแสดงผลของวิธีการให้สารทางใบและความเข้มข้นของแมกนีเซียมต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสัปดาห์จากการให้สารละลายแมกนีเซียมที่ต่างกันโดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวเปรียบเทียบ หมายเหตุ * แสดงถึงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05, ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 1 จากการให้สารละลายแมกนีเซียมที่แตกต่างกันต่อปริมาณคลอโรฟิลล์และค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ (Fv/FM)

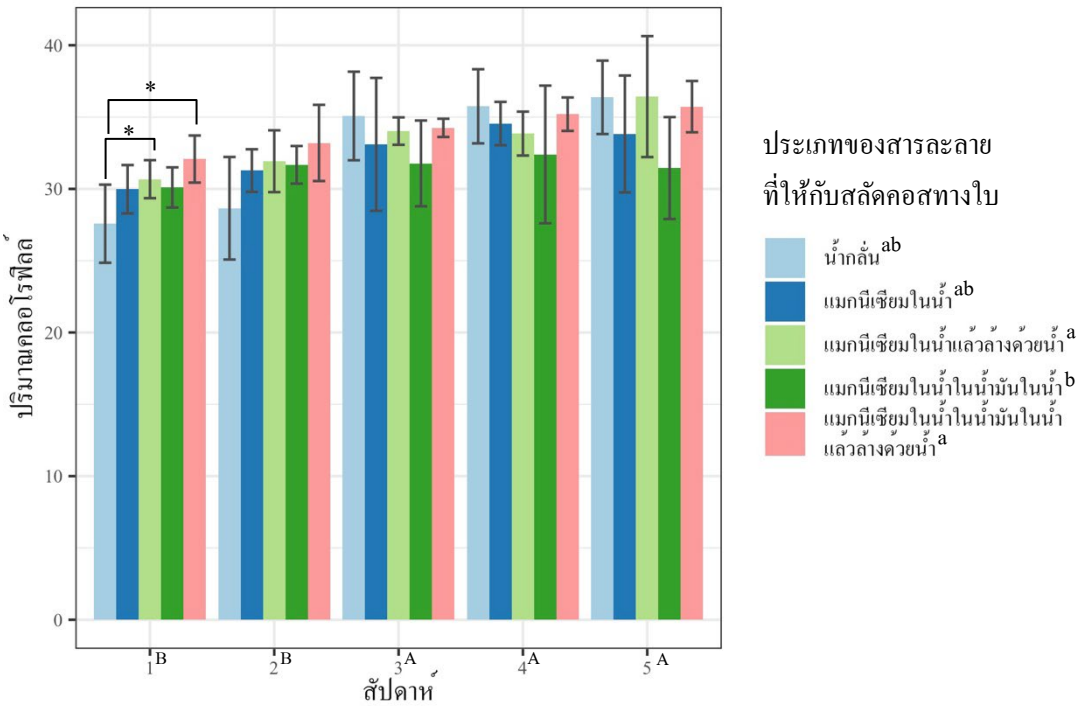
ประเภทของสารละลายที่ให้กับสลัดคอสทางใบ	ปริมาณคลอโรฟิลล์**	Fv/Fm
น้ำกลั่น	22.72 c	0.72
สารละลายแมกนีเซียม 0.25 mg/l ในน้ำ	28.68 a	0.78
สารละลายแมกนีเซียม 0.25 mg/l ในน้ำในน้ำมันในน้ำ	23.49 bc	0.80
สารละลายแมกนีเซียม 0.5 mg/l ในน้ำในน้ำมันในน้ำ	26.92 ab	0.80
สารละลายแมกนีเซียม 1 mg/l ในน้ำในน้ำมันในน้ำ	26.73 ab	0.81

หมายเหตุ ** แสดงถึงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.01, ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 , ค่า Fv/Fm คือการวัดค่า chlorophyll fluorescence ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง



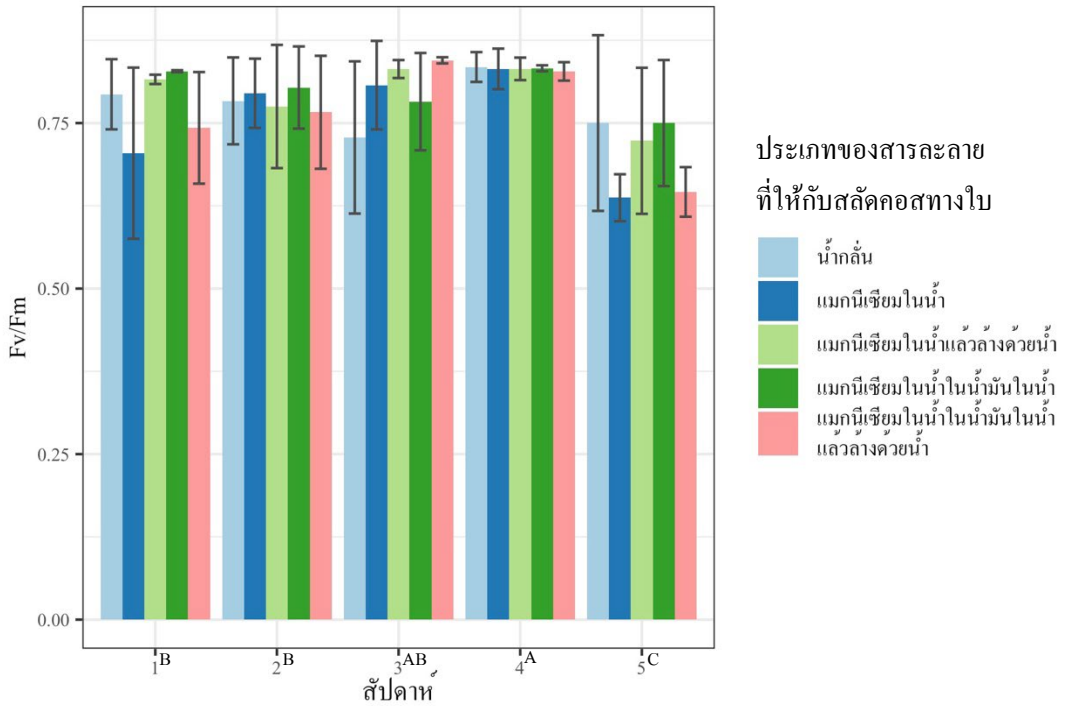
ภาพที่ 2 กราฟแสดงผลของวิธีการให้สารทางใบและความเข้มข้น
ต่อค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ (Fv/FM) หลังจากปลูกสัปดาห์ที่ 1 - 5
หมายเหตุ * แสดงถึงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05,
** แสดงถึงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.01, ค่า Fv/Fm
คือการวัดค่า chlorophyll fluorescence ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง

การให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบแล้วล้างด้วยน้ำทำให้ใบสลัดคอสดูดซึมแมกนีเซียมเข้าสู่ใบพืชได้ดีขึ้น โดยผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าทั้งสารละลายแมกนีเซียมในน้ำและสารละลายแมกนีเซียมในน้ำในน้ำมันในน้ำแล้วล้างด้วยน้ำทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในสัปดาห์ที่ 1 แสดงให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนที่สุด แต่ในสัปดาห์ที่ 2 - 5 จะมีความแตกต่างลดลง (ภาพที่ 3) แต่การให้สารละลายแมกนีเซียมทุกวิธีไม่ทำให้การสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ภาพที่ 4) ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาหลังจากให้แมกนีเซียมทางใบมีผลต่อปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยพบว่าสัปดาห์ที่ 4 เป็นสัปดาห์ที่ปริมาณคลอโรฟิลล์และการสังเคราะห์ด้วยแสงเพิ่มขึ้นสูงที่สุดอย่างชัดเจน แต่การสังเคราะห์ด้วยแสงจะลดลงในสัปดาห์ที่ 5 (ภาพที่ 3 และ 4)



ภาพที่ 3 กราฟแสดงผลของวิธีการให้สารทางใบและการล้างต่อปริมาณคลอโรฟิลล์หลังจากปลูก สัปดาห์ที่ 1 - 5

หมายเหตุ *, ** แสดงถึงระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และ 0.01 ตามลำดับ,



ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาพที่ 4 กราฟแสดงผลของวิธีการให้สารทางใบและการล้างต่อค่าคลอโรฟิลล์ฟลูออเรสเซนส์ (Fv/FM) หลังจากปลูกสัปดาห์ที่ 1 - 5

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกันไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95,

ค่า Fv/Fm คือการวัดค่า chlorophyll fluorescence ซึ่งเป็นการวัดประสิทธิภาพในการสังเคราะห์ด้วยแสง

6. อภิปรายผล

จากการทดลองพบว่าการให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบกับสลัดคอส โดยการนำแมกนีเซียมซัลเฟตละลายในน้ำทดแทนการขาดแมกนีเซียม เช่นเดียวกับงานวิจัยที่ให้แมกนีเซียมซัลเฟตละลายในน้ำ ที่ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตรเช่นกัน (Roosta, 2011) และปริมาณคลอโรฟิลล์ยังสนับสนุนว่าการให้แมกนีเซียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นที่ 0.25 กรัมต่อลิตรเพียงพอแล้ว เนื่องจากสามารถเพิ่มปริมาณคลอโรฟิลล์ได้อย่างมีค่านัยสำคัญเหมือนกัน (ตารางที่ 1) การทดแทนการขาดธาตุแมกนีเซียมของสลัดคอสได้ด้วยวิธีที่แมกนีเซียมละลายในน้ำจะถูกนำเข้าสู่สลัดคอสผ่านทางใบในส่วนของปากใบ จากระบบการลำเลียงน้ำของพืชซึ่งถือเป็นสารส่วนที่พืชลำเลียงโดยจะลำเลียงผ่านไซเล็มไปยังส่วนต่าง ๆ ของต้นพืชซึ่งนำไปใช้ในคลอโรพลาสต์เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการสร้างคลอโรฟิลล์ โดยคลอโรฟิลล์นั่นมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญและในสลัดคอสก็เช่นกัน ส่วนการให้แมกนีเซียมละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำ (water-in-oil-in-water emulsion, W/O/W) ซึ่งเป็นอิมัลชันคู่หรืออิมัลชันในอิมัลชัน เป็นระบบที่ซับซ้อนที่ประกอบด้วยอิมัลชันภายใน ที่เป็นน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsion, W/O) ซึ่งจะกระจายตัวไปยังวัฏภาคของน้ำ (Mudric, 2019) ซึ่งในงานวิจัยนี้แมกนีเซียมที่ละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำก็มีประสิทธิภาพในการทดแทนการขาดแมกนีเซียมได้โดยทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้น เนื่องด้วยด้วยคุณสมบัติของของน้ำในน้ำมันในน้ำที่มีแมกนีเซียมถูกละลายในน้ำและล้อมรอบด้วยน้ำมันและน้ำเป็นชั้น จึงสามารถผ่านเข้าเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีความสามารถในการเป็นเยื่อเลือกผ่าน และมี phospholipid bilayer ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลล์ที่เป็น Amphiphilic คือมีทั้งส่วนที่เป็น hydrophobic (ส่วนที่ชอบน้ำ ละลายน้ำได้ดี) และส่วนที่เป็น hydrophilic (ส่วนใหญ่จะที่ไม่ชอบน้ำ จะละลายได้ดีในสารอินทรีย์ที่ไม่มีขั้ว) ซึ่งด้วยคุณสมบัตินี้ทำให้แมกนีเซียมละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำสามารถเข้าสู่เซลล์และเคลื่อนไปยังคลอโรพลาสต์ได้ง่าย แต่โมเลกุลที่ถูกห่อหุ้มในระยะชั้นในจะต้องผ่านหลายชั้นก่อนที่จะสามารถดูดซับได้ ทำให้อัตราการดูดซับถูกควบคุมโดยความสามารถของโมเลกุลที่ถูกห่อหุ้มในการแพร่กระจายผ่านสิ่งต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้อิมัลชันคู่จึงสามารถใช้เป็นระบบนำส่งแบบควบคุมและต่อเนื่องสารได้แต่อาจจำเป็นต้องใช้สารความเข้มข้นสูง เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่การให้แมกนีเซียมละลายในน้ำในน้ำมันในน้ำที่ความเข้มข้น 0.5 และ 1 กรัมต่อลิตรจึงจะทำให้ปริมาณคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับแมกนีเซียมละลายในน้ำความเข้มข้น 0.25 กรัมต่อลิตร (ตารางที่ 1) ได้ผลการทดลองว่าสามารถทดแทนการขาดแมกนีเซียมของพืชได้และยังเพิ่มปริมาณแมกนีเซียมทั้งในรากและในใบได้อีกด้วย (jezek et al., 2015)

7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการให้สารละลายแมกนีเซียมทางใบในสภาพแปลงปลูกเพื่อทดสอบประสิทธิภาพเมื่อใช้จริงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับระยะเวลาหลังฉีดแล้วทำการล้าง เนื่องจากเมื่อทำการล้างใบแล้วส่งผลดีต่อใบสลัดคอสในช่วงสัปดาห์แรกเท่านั้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนโครงงานวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์/โครงการวิจัย จากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ประจำปี 2564 และได้รับงบอุดหนุนโครงการวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี งบเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ 2564

9. เอกสารอ้างอิง

ธีระพงศ์ จันทรนิยม. (2556). *บทบาทของธาตุแมกนีเซียมในการเพิ่มผลผลิตปาล์มน้ำมัน*. เอกสารเผยแพร่ของศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน. สงขลา: คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Jezek, M., Geilfus, C. M., Bayer, A. & Mühling, K. H. (2014). Photosynthesis capacity, nutrient status and growth of maize (Zea mays L.) upon $MgSO_4$ leaf-application. *Frontiers in Plant Science, 5*(781), pp. 1-10.

Karny, A., Zinger, A., Kajal, A., Shainsky-Roitman, J. & Schroeder, A. (2018). Therapeutic nanoparticles penetrate leaves and deliver nutrients to agricultural crops. *scientific reports, 8*(7589), 1-10.

Mudric J., Šavikin K., Ibric S. & ĐURIŠ J.. (2019). Double emulsions (W/O/W emulsions): Encapsulation. Lekovite Sirovine, 39 ,76-83

Pataranutaporn. (23 กุมภาพันธ์ 2556). เข้าถึงได้จาก slideshare: https://www.slideshare.net/patpataranutaporn?utm_campaign=profiletracking&utm_medium=sssite&utm_source=sssslideview

Roosta, H. R. & Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato**.** *Scientia Horticulturae, 3*(122), 396-402.

การศึกษาความหลากหลายสาหร่ายไฟในแม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี

THE STUDY OF BIODIVERSITY OF CHAROPHYTE IN THE KHWAE YAI RIVER KANCHANABURI PROVINCE

นางสาวณัฐชยา โพธิ์บอน

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

E-mail: nchy2112@gmail.com

นางสาวอารยา อบกลั่น

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

E-mail: araya.eye05@gmail.com

นายภูวณัฐ ชำนาญ

โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

E-mail: st60054@kru.ac.th

ดร.ธีระ วัชระมงคล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

E-mail: teerawat@kru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาสาหร่ายไฟในจังหวัดกาญจนบุรีนั้นมักจะไม่เป็นที่สนใจเพราะคนส่วนใหญ่มองว่าเป็นวัชพืช แต่สาหร่ายไฟนั้นมีประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน ความรู้เกี่ยวกับสาหร่ายชนิดนี้ในธรรมชาติจะทำให้สามารถใช้ประโยชน์สาหร่ายได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกสำรวจในแต่ละสถานที่ริมแม่น้ำแควใหญ่ทั้งหมด 7 สถานที่ ในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2564 ซึ่งมี 3 สถานที่เป็นบริเวณต้นน้ำ คือ ท่าน้ำสายนที ท่าน้ำวัดลาดหญ้า ท่าน้ำหนองบัว และมี 4 สถานที่เป็นบริเวณปลายน้ำ คือ ท่าน้ำท่าล้อ ท่าน้ำวัดแก่นหลวง ท่าน้ำเกาะยาง และท่าน้ำชุกโดน จากการสำรวจจะพบสาหร่ายไฟทั้งหมด 2 สกุล 5 สปีชี่ส์ คือ *Chara zeylanica*, *Chara ecolonii*, *Nitella acuminata*, *Nitella furcata*, *Nitella lhotzky* โดยพบเฉพาะบริเวณต้นแม่น้ำ เนื่องจากบริเวณต้นแม่น้ำมีความขุ่นน้อยกว่าบริเวณปลายแม่น้ำ จากนั้นจะทำน้ำยารักษาสภาพเซลล์เพื่อคงสภาพของสาหร่าย ดังนั้นสาหร่ายไฟที่พบทั้งหมดมาจากต้นแม่น้ำที่มีค่า DO สูง มีค่า EC ต่ำและมีค่า pH เป็นกลาง จากการศึกษาจะนำไปสู่ตำแหน่งของสาหร่ายไฟและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่สาหร่ายไฟ เช่น *Nitella furcata* เป็นสาหร่ายไฟที่พบได้ที่เดียวจาก 7 สถานที่คือ ที่ท่าน้ำสายนทีซึ่งทั้งหมดมีค่า DO สูง มีค่า EC ต่ำและมีค่า pH เป็นกลาง เหมาะกับการอยู่อาศัยของสาหร่ายชนิดนี้และ *Chara zeylanica* และอีก 6 ชนิด เป็นสาหร่ายไฟที่พบได้โดยพบ 2 สถานที่จาก 7 สถานที่คือ ที่ท่าน้ำหนองบัว และท่าน้ำวัดลาดหญ้า โดยสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายไฟ คือ ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ ค่าความขุ่นใสและค่าแสงส่องผ่าน แต่การกระจายพันธุ์ของแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับความจำเพาะของแต่ละสถานที่

คำสำคัญ: สาหร่ายไฟ, แม่น้ำแควใหญ่, กาญจนบุรี

ABSTRACT

The study of Charophyte in Kanchanaburi province is frequently neglected because most people consider them as weeds. However, they are beneficial in various ways. Knowledge of these algae in nature will help us use them properly. As a result, this research is a survey along the Khwae Yai River in 7 locations during July 2020 and June 2021 including 3 upstream locations; Sai Natee waterfront, Wat Lat Ya waterfront, Nong Bua waterfront and 4 downstream locations; Tha Loh waterfront, Wat Kaen Luang waterfront, Koh Yang waterfront, and Chuk Doon waterfront. The survey found 2 genera and 5 species of Charophytes which are *Chara zeylanica*, *Chara ecolonii*, *Nitella acuminata*, *Nitella furcata*, *Nitella hotzky*. All Charophytes were found only in upstream of the river with low turbidity, high DO, low EC values and neutral pH. The study found the relationship between species of Charophytes and locations. *Nitella furcata* was found only at Sai Natee waterfront with high DO, low EC, and neutral pH. This environment was the best condition for this species. On the other hands, other species were commonly found in Nong Bua waterfront and Wat Lat Ya waterfront that had similar environment. In conclusion, limiting factors of the growth of Charophytes were tubidity, DO, EC and pH but distribution of species depended on specific location.

Keywords: Charophyte**,** Khwae Yai River, Kanchanaburi

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การศึกษาสาหร่ายไฟคาโรไฟต์ (charophytes) ซึ่งเป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) เรียกทั่วไปว่าสาหร่ายไฟ (stonewort) สาหร่ายกลุ่มนี้เป็นสาหร่ายสีเขียวมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูงโดย แทลลัส (thallus) มีขนาดใหญ่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าประกอบด้วยส่วนคล้ายรากคล้ายลำต้น และคล้ายใบเจริญอยู่ใต้น้ำมีการกระจายพันธุ์ในแหล่งน้ำทั่วโลกโดยเฉพาะในน้ำจืด น้ำกร่อย และในนาข้าว (อัฏฐพร สิทธิ์วิภูศิริ, 2558) การศึกษาสาหร่ายไฟในจังหวัดกาญจนบุรีนั้นมักไม่เป็นที่สนใจแก่ผู้คนทั่วไป เพราะคนส่วนใหญ่มักมองว่าสาหร่ายไฟไม่มีความน่าสนใจหรือไม่มีผลอะไรกับความเป็นอยู่ของตน และยังมองอีกว่าสาหร่ายไฟเป็นเพียงวัชพืชเท่านั้น แต่หากพิจารณาแล้วจะพบว่าสาหร่ายไฟยังมีประโยชน์อยู่ในหลายๆ ด้าน เช่น การช่วยปรับสภาพกรดเบสของดินให้เหมาะสมโดยทัลลัสของสาหร่ายไฟที่ตายลงและเน่าเปื่อยจะปลดปล่อยหินปูนที่เป็นสารเคมีพวก $CaCO_3$ และ $MgCO_3$ จนกลายเป็นปูนมาร์ล (Marl) ที่ช่วยลดภาวะความเป็นกรดของดินได้อีกทั้งเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยแก่สัตว์น้ำ นอกจากนี้สาหร่ายไฟยังมีความสำคัญต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำในด้านของการเป็นผู้ผลิตที่สำคัญเช่นเดียวกับพืชบก (อัฏฐพร สิทธิ์วิภูศิริ, 2558) ดังนั้นหากไม่มีสาหร่ายไฟเกิดขึ้นจะทำให้ไม่มีพืช เช่น ในทุกๆ วันนี้หรืออาจจะทำให้มนุษย์วิวัฒนาการเปลี่ยนแปลงไป เพราะสาหร่ายไฟเป็นแหล่งผลิตออกซิเจนเริ่มแรกของโลก (เสนาะ บุญมี, 2527) อีกทั้งกาญจนบุรีเป็นจังหวัดที่มีแหล่งน้ำค่อนข้างมากและมีสภาพแวดล้อมธรรมชาติที่ค่อนข้างหลากหลายแม่น้ำและบริเวณข้างฝั่งทั้งสองของแม่น้ำมีธรรมชาติที่สมบูรณ์ทำให้มีชื่อเสียงด้านการท่องเที่ยวด้วยการล่องแพชมธรรมชาติ (กรมทรัพยากรธรณี, 2551) ทำให้ทางคณะผู้จัดทำเลือกที่จะทำการสำรวจสาหร่ายไฟชนิดนี้ขึ้นเพื่อที่จะทราบถึงความหลากหลายของสาหร่ายไฟในบริเวณต้นและปลายแม่น้ำแควใหญ่ และสภาพแวดล้อมที่พบสาหร่ายแต่ละชนิด ทำให้ผู้คนเกิดความสนใจในสาหร่ายไฟและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์และนำไปต่อยอดงานวิจัยต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความหลากหลายของสาหร่ายไฟในแม่น้ำแควใหญ่
2. เพื่อเปรียบเทียบค่า pH, EC, DO, ค่าความขุ่นใส และค่าแสงส่องผ่านของน้ำ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของสาหร่ายไฟ

สาหร่ายไฟ (Stonewort)

สาหร่ายไฟ (stonewort) คือ วัชพืชชั้นต่ำที่มีขนาดใหญ่โดยมีลักษณะแทลลัส (Thallus) คล้ายพืชชั้นสูง คือมีการเห็นข้อและปล้องได้อย่างชัดเจนมีการสืบพันธุ์ที่คล้ายพืชยืนต้นทั่วไป คือ มีเพศผู้และเพศเมียอยู่ในต้นเดียวกัน สาหร่ายไฟมีชื่อทั่วไปในท้องถิ่นว่ามาดไฟหรือสายร้อน (กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์, 2527)โดยมีความเชื่อที่ว่าสาหร่ายไฟจะขึ้นในน้ำที่มีอุณหภูมิสูงที่สาหร่ายทั่วไปไม่สามารถอาศัยอยู่ได้และมีกลิ่นคาว เมื่อถึงฤดูกาลผสมพันธุ์สาหร่ายไฟจะมีสปอร์ของเพศผู้ที่มีสีแดงขึ้นตามลำต้นเป็นจำนวนมากทำให้คล้ายกับว่าสาหร่ายไฟมีไฟในตัวเอง ชาวบ้านที่พบเจอจึงเรียกว่ามาดไฟและเปลี่ยนมาเรียกเป็นสาหร่ายไฟ (อัฏฐพร สิทธิ์วิภูศิริ, 2558)

สาหร่ายไฟในประเทศไทย

ในประเทศไทยมีการค้นพบสาหร่ายไฟอยู่ 4 สกุล 25 สปีชี่ส์ โดยมี 13 สปีชี่ส์ของ *Nitella*, 9 สปีชี่ส์ของ *Chara* 2 สปีชี่ส์ของ *Nitellopsis* และ 1 สปีชี่ส์ของ *Tolypella* โดย *Chara zeylanica* เป็นสาหร่ายไฟที่พบมากที่สุดในบริเวณทุ่งนาข้าว (ยงยุทธ จรรยารักษ์, 2520)

ลักษณะของสาหร่ายไฟ

สาหร่ายไฟมีแทลลัสที่คล้ายพืชชั้นสูงและมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้ม (อัฏฐพร, 2558) บริเวณแกนต้นของสาหร่ายไฟมีคอติเคติงเซลล์ (corticating cell) ซึ่งปกคลุมอยู่ที่บริเวณแกนต้นหรือแขนงย่อยต่างๆ แต่ในบางสปีชี่ส์ก็ไม่มีคอติเคติงเซลล์ปกคลุม เช่น *Nitella, Nitelopis* เป็นต้น ในบางชนิดของสาหร่ายไฟคอติเคติงเซลล์ที่อยู่บริเวณแกนต้นจะมีการเกิดชนกันทำให้มีคอติเคติงบางเซลล์ยื่นออก มาทำให้มองดูคล้ายหนามเรียกเซลล์หนาม (spine cells) ในบริเวณของข้อจะมีแบรกเซลล์ (bract cells) เจริญอยู่รอบข้อแขนงย่อยของสาหร่ายไฟเป็นโครงสร้างที่คล้ายใบของพืชชั้นสูงโดยมีการแตกออกเป็นวงรอบ (whorl) โดยในบริเวณข้อต่อระหว่างแขนงย่อยจะมีเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้และเมียอยู่ใน บริเวณของแขนงย่อยโดยพบได้ตั้งแต่ข้อของแขนงย่อยจากแกนต้นมาโดยเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้เรียก แอนเทอริเดียม (antheridium) หรือ โกลบูล (globule) ซึ่งมีลักษณะกลมและมีสีส้มออกแสดทำให้เห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า (สรฉัตร, 2559) และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียเรียก โอโอโกเนียม (oogonium) หรือ นูคูล (nucule) มีลักษณะกลมออกรียาวมีสีเขียวอ่อนถึงเขียวเข้มบริเวณของปลายสุดของโอโอโกเนียมจะมีมงกุฎที่ตั้งๆ อยู่เรียกว่า โคโรนูลา (coronula) หรือ โคโรนา (corona) (สรฉัตร, 2559) จะมีแบรกทีโอล (bracteole) ที่ทำหน้าที่ในการรองรับเซลล์สืบพันธุ์ข้อระหว่างแขนงย่อยที่ 1 และแกนต้นจะมีเซลล์ที่ลักษณะคล้าย หนามลดรูปเกาะอยู่บริเวณต้นแขนย่อย และแกนต้นเรียกว่า สติปูโลด (stipulode) โดยพบได้หลายแบบทั้งแบบมีสองชั้นหรือชั้นเดียว แต่ในบางชนิดก็ไม่มีเลยเช่น *Nitella , Nitelopis* เป็นต้น สาหร่ายไฟมีส่วนที่คล้ายรากที่ เรียกว่าไรซอยด์ (rhioziod) ที่ทำหน้าที่ในการยึดเกาะและดูดซึม แร่ธาตุ

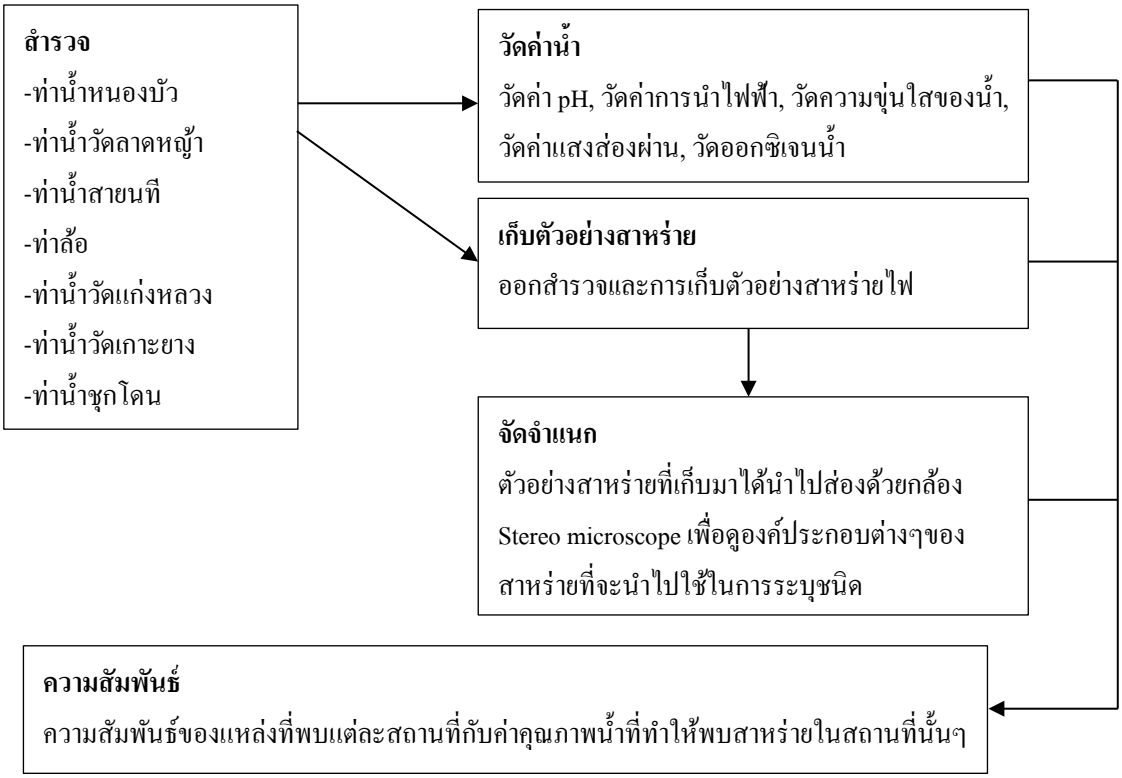
แหล่งที่อยู่อาศัยของสาหร่ายไฟ

สาหร่ายไฟมักอาศัยอยู่ในน้ำจืดและนาข้าวหรือในบางครั้งก็มีอยู่ในน้ำกร่อย (เสนาะ, 2527) โดยการขึ้นของสาหร่ายไฟยิ่งเยอะยิ่งแปลได้ว่าน้ำในบริเวณมีคุณภาพที่ดี ที่เหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชน้ำและสาหร่ายไฟและยังทำให้ปลาอาศัยอยู่ได้

จังหวัดกาญจนบุรี

จังหวัดกาญจนบุรีเป็นจังหวัดที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางด้านของธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดเป็นป่าไม้และภูเขาสูง โดยเฉพาะพื้นที่ทางด้านเหนือและตะวันตกของจังหวัด ในจังหวัดกาญจนบุรีมีทิวเขายาวจึงทำให้มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง และมีอากาศร้อนอบอ้าว มากในฤดูร้อน (กรมชลประทาน, 2561) จังหวัดกาญจนบุรีมีแม่น้ำอยู่ทั้งหมด 7 สายคือ แม่น้ำแควใหญ่, แม่น้ำแควน้อย, แม่น้ำแม่กลอง, แม่น้ำบีคลี่, แม่น้ำซองกาเลีย, แม่น้ำรันตี แต่แม่น้ำที่ได้ทำการศึกษาคือ แม่น้ำแควใหญ่, แม่น้ำกลอง และแม่น้ำแควน้อย

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ในช่วงต้นแม่น้ำแควใหญ่มีชนิดของสาหร่ายที่หลากหลายต่างจากปลายแม่น้ำที่ไม่มีสาหร่ายไฟ เพราะคุณภาพของน้ำในบริเวณต้นแม่น้ำเหมาะสมแก่การเกิดสาหร่ายไฟมากกว่าบริเวณปลายแม่น้ำ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การทำวิจัยการสำรวจสาหร่ายไฟจากต้นแม่น้ำและปลายแม่น้ำจะทำการสำรวจที่ต้นแม่น้ำคือท่าน้ำหนองบัว ท่าน้ำวัดลาดหญ้า ท่าน้ำสายนที และในบริเวณปลายแม่น้ำจะทำการสำรวจที่ท่าน้ำ ท่าล้อ ท่าน้ำวัดแก่นหลวง ท่าน้ำวัดเกาะยางและท่าน้ำชุกโดน แล้วทำการเก็บสาหร่ายและเก็บน้ำจากแหล่งน้ำ 7 จุด

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

สาหร่ายไฟที่เก็บทั้งหมด 7 จุด คือ ท่าน้ำหนองบัว, ท่าน้ำวัดลาดหญ้า, ท่าน้ำสายนที, ท่าน้ำท่าล้อ, ท่าน้ำชุกโดน, ท่าน้ำวัดเกาะยาง และท่าน้ำวัดแก่งหลวง โดยทำการศึกษาในช่วงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมิถุนายม พ.ศ. 2564

4.3 เครื่องมือวิจัย

pH Meter วัดค่า pH, เครื่อง Electroconductivity meter (EC) วัดค่าการนำไฟฟ้า, กระบอกวัดความขุ่นใส วัดความขุ่นใสของน้ำ, เครื่อง Spectrophotometer วัดค่าแสงส่องผ่าน, วัดออกซิเจนน้ำ DO meter

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ออกสำรวจและการเก็บตัวอย่างสาหร่ายไฟ มีวัสดุอุปกรณ์ดังนี้ กระปุกเก็บตัวอย่างสาหร่ายไฟ, น้ำขวดใหญ่, กระดาษทิชชู่ม้วน, ขวดเปล่าใหญ่, บีกเกอร์พลาสติกขนาด 500ml, น้ำกลั่น, กระบอกวัดความขุ่นใส, เครื่องวัด pH meter, พลั่วขุดดิน ในบริเวณต้นแม่น้ำแควใหญ่นั้นจะเลือกแหล่งเก็บที่ท่าน้ำหนองบัว, ท่าน้ำวัดลาด หญ้าและท่าน้ำสายนที ส่วนในบริเวณปลายแม่น้ำแควใหญ่นั้นเราจะทำการเก็บที่ท่าน้ำท่าล้อ, ท่าน้ำวัดแก่งหลวง, ท่าน้ำวัดเกาะยางและท่าน้ำชุกโดน เมื่อทำการเก็บตัวอย่างจะเก็บมาโดยเอามาทั้งต้นให้สมบูรณ์ที่สุดแล้วเก็บลงในขวดเก็บตัวอย่างโดยให้น้ำสะอาดหรือน้ำกลั่นในการแช่ตัวอย่างในกระปุกเก็บตัวอย่างและนอกจากนั้นจะเก็บน้ำสถานที่ละ 2 ขวดโดยขวดแรกเก็บน้ำในบริเวณตื้นและอีกขวดเก็บในบริเวณลึก ตัวอย่างหลังจากส่องด้วยกล้อง Stereo microscope และทำความสะอาดตัวอย่างแล้วเก็บรักษาไว้ในทำน้ำยารักษาสภาพเซลล์ โดยการทำน้ำยารักษาสภาพเซลล์นั้นจะใช้ น้ำกลั่น 350 ml, Formalin 100 ml, Glacial acetic acid 50 ml, 95% ethyl alcohol 500 ml เพื่อคงความสมบูรณ์เอาไว้ไม่ให้เหี่ยว

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์สกุลสาหร่าย ตัวอย่างสาหร่ายที่เก็บมานำไปส่องด้วยกล้อง Stereo microscope เพื่อดูองค์ประกอบต่าง ๆ ของสาหร่ายที่จะนำไปใช้ในการระบุชนิด และวัดความกว้างยาวของเซลล์ สืบพันธุ์ต่างๆ ในการระบุชนิดสาหร่าย จะนำภาพที่ได้จากการส่องกล้อง Stereo microscope มาทำการระบุชนิดด้วยการใช้รูปวิธานระบุชนิด (Identification key) โดยจะใช้รูปวิธานจากงานวิจัย “ความหลากหลายของสาหร่ายไฟ (วงศ์ Characeae) ในภาคกลางของประเทศไทย” ของนายอัฏฐพร สิทธิ์วิภูศิริและ “การศึกษาอนุกรมวิธานของสาหร่ายไฟในตระกูลคาเรซิอีในประเทศไทย” ของนายยงยุทธ จรรยารักษ์

5. ผลการวิจัย

จากการศึกษาแม่น้ำแควใหญ่ตั้งแต่ต้นแม่น้ำจนถึงปลายแม่น้ำในจังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างบริเวณต้นแม่น้ำและปลายแม่น้ำ และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น พบว่าบริเวณต้นแม่น้ำมีแนวโน้มที่ค่า DO, ค่า pH, ค่าความขุ่นใส และค่าแสงส่องผ่านสูงกว่าบริเวณปลายแม่น้ำทั้งบริเวณน้ำลึกและน้ำตื้น ส่วนค่า EC นั้นบริเวณต้นแม่น้ำมีแนวโน้มมีค่าต่ำกว่าบริเวณปลายแม่น้ำ

เมื่อเปรียบเทียบที่บริเวณน้ำลึกหรือบริเวณน้ำตื้นเหมือนกัน โดยบริเวณน้ำลึกมีแนวโน้มที่จะมีค่า EC สูงกว่าบริเวณน้ำตื้น ดังนั้นจากพารามิเตอร์ที่วัดได้จากน้ำชี้ให้เห็นว่าบริเวณต้นแม่น้ำมีความสะอาดมากเนื่องจากมีค่า DO สูง แสดงถึงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมาก และค่า EC ต่ำ แสดงถึงสารปนเปื้อนที่น้อย ค่าความขุ่นใสและค่าแสงส่องผ่านที่สูง ที่แสดงว่าน้ำใสและมีตะกอนในน้ำน้อย (ตารางที่ 1) จากการสำรวจพบว่าที่บริเวณต้นแม่น้ำพบสาหร่ายไฟทั้งหมด 2 สกุล 5 สปีชี่ส์ คือ *Chara zeylanica*, *Chara ecolonii*, *Nitella acuminata*, *Nitella furcata*, *Nitella lhotzkyi* (ภาพที่ 1-5) แต่ไม่พบสาหร่ายไฟในช่วงปลายแม่น้ำ ชี้ให้เห็นว่าสาหร่ายไฟสามารถเจริญได้ดีในบริเวณต้นแม่น้ำที่มีความสะอาดของน้ำสูงกว่าบริเวณปลายแม่น้ำ

ความแตกต่างของปลายแม่น้ำและต้นแม่น้ำ

บริเวณต้นแม่น้ำ แม่น้ำจะผ่านป่าและพื้นที่เกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ และส่วนน้อยเป็นชุมชนขนาดเล็ก ขณะที่บริเวณปลายแม่น้ำ แม่น้ำจะผ่านชุมชนเป็นส่วนใหญ่โดยสภาพแวดล้อมริมน้ำจะประกอบด้วยบ้านเรือนประชาชนและเรือที่ใช้ในการทำธุรกิจต่างๆ จำนวนมากมาก จากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันทำให้คุณภาพน้ำบริเวณต้นแม่น้ำและปลายแม่น้ำต่างกัน โดยน้ำบริเวณต้นแม่น้ำมีคุณภาพดีกว่าบริเวณปลายแม่น้ำมากโดยดูได้จากค่า DO ของน้ำบริเวณต้นแม่น้ำที่สูงกว่าน้ำบริเวณปลายน้ำที่แสดงว่าน้ำบริเวณต้นแม่น้ำมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำมาก และค่า EC ของน้ำบริเวณต้นแม่น้ำที่มีความน้อยกว่าบริเวณปลายแม่น้ำที่แสดงให้เห็นว่าที่ปลายแม่น้ำมีการเจือปนของธาตุและจุลินทรีย์ต่างๆ สูง และค่าความขุ่นใสและค่าแสงส่องผ่านที่สูงที่แสดงถึงน้ำที่มีความใสมากและมีตะกอนน้อยในบริเวณต้นแม่น้ำ คุณภาพน้ำในบริเวณปลายแม่น้ำที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นแม่น้ำเกิดจากการที่ชุมชนมีกิจกรรมที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนในน้ำสูง เช่น การเทน้ำเสียและสิ่งปฏิกูลลงในแม่น้ำ

ตารางที่ 1 ผลการวัดคุณภาพน้ำบริเวณริมแม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี

พารามิเตอร์	ต้นแม่น้ำ		ปลายแม่น้ำ	
	น้ำลึก	น้ำตื้น	น้ำลึก	น้ำตื้น
pH	7.79	7.93	7.64	7.65
EC	2,1258.88	1,010.75	2,683.75	1,748.92
ความขุ่นใส	48.95	32.37	12.8	13.37
แสงส่องผ่าน	78.12	73.47	40.45	38.98
DO	3.43	3.58	0.98	1.09

ชนิดของสาหร่ายที่พบ

สาหร่ายไฟ *Chara zeylanica* และ *Chara ekolonii* และมีความกว้างยาวของเซลล์สืบพันธุ์ที่ใกล้เคียงกัน และตำแหน่งที่พบของเซลล์สืบพันธุ์ที่มีตำแหน่งการเกิดของเซลล์สืบพันธุ์เหมือนกัน คือ มีโอโอโกเนียม (oogonium) อยู่ด้าน บนแอนเทอริเดียม (antheridium) เหมือนกัน สาหร่ายไฟในตระกูล *Nitella* คือมีความเป็นพุ่มเหมือนกันและไม่มีคอติเคติงเซลล์ (corticating cell) ทั้งแทลลัสเหมือนกัน การพบเซลล์สืบพันธุ์ที่เหมือนกันคือพบที่ข้อแขนง 2-4 ขึ้นไป สติปูโลด (stipulode) ไม่เหมือนกันทุกชนิด มีการแตกแขนงต่อ 3-4 แขนงเหมือนกันมีลักษณะการเกิดของเซลล์สืบพันธุ์ที่คล้ายกันคือพบโอโอโกเนียมอยู่ข้างแอนเทอริเดียม

Chara zeylanica: จะมีความยาวของแทลลัส 71-114 มิลลิเมตร สีเขียวอ่อนถึงเขียวแก่ มีสติปูโลด (stipulode) 2 แถว ข้อแรกของแขนงย่อยไม่มีคอติเคติงเซลล์(corticating cells)ปกคลุมเซลล์หนามเป็น 3-corticate แขนงย่อยไม่แตกแขนงต่อ มีจำนวน 9 หรือมากกว่า 10 อัน มีเซลล์หนามบนลำต้น มีแบรกทีโอล (bracteole) ทำหน้าที่รองรับโครงสร้างเซลล์สืบพันธุ์ มีโอโอโกเนียม (oogonium) กว้าง 393.771-433.528 ไมโครเมตร และยาว 649.173-681.947 ไมโครเมตร และแอนเทอริเดียม (antheridium) ยาว 221.288-322.258 ไมโครเมตร และกว้าง 250.576-260.902 ไมโครเมตรอยู่ระหว่างข้อ

(A) **(B)** **(C)**

ภาพที่ 1 ตำแหน่งต่างๆ ของ *Chara zeylanica*

(A) ในส่วนที่วงกลมคือ คอติเคติงเซลล์ (corticating cells)

(B) ในส่วนที่วงกลมคือ สติปูโลด (stipulode) 2 แถว

(C) ในส่วนที่วงกลมคือเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียโอโอโกเนียม (oogonium) และส่วนที่เป็นวงกลมปะคือเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ แอนเทอริเดียม (antheridium)

Chara ecolonii: แทลลัสมีขนาด 100-137 มิลลิเมตร มีแกนต้นที่มีปล้อง 2-6 เท่าของกิ่งก้าน ขนาดความกว้าง 587.526 ไมโครเมตร มีสติปูโลด (stipulode) จำนวน 1 ชั้น และมีแบรกเซลล์ (bract cells) จำนวน 2 อัน โอโกโกเนียม (oogonium) ความกว้าง321.750-474.061 ไมโครเมตร ความยาว 581.378-797.687 ไมโครเมตร แอนเทอริเดียม (antheridium) มีลักษณะเป็นทรงกลมสีส้ม ขนาดความกว้าง 224.323-232.843 ไมโครเมตร ความยาว 234.666-314.062 ไมโครเมตร

(A) (B) (C)

ภาพที่ 2 ตำแหน่งต่างๆ ของ *Chara ecolonii*

(A) ในส่วนที่วงกลมคือ เซลล์สืบพันธ์เพศเมียโอโอโกเนียม (oogonium) และส่วนที่เป็นวงกลมปะคือเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ แอนเทอริเดียม (antheridium)

(B) ในส่วนที่วงกลมคือ สติปูโลด (stipulode)

(C) ในส่วนที่วงกลมคือ End cell

Nitella acuminata: รูปร่างแทลลัสมีความสูง 60-62 มิลลิเมตรโดยมีสีเขียวอ่อน โครงสร้างทั้งหมดไม่มีคอติเคติงเซลล์ (corticating cells) มีแดกทิล (dactyle) มีลักษณะแบบแหลม (acute) ปลายใบจะค่อยๆ เรียวเข้าบรรจบกันลักษณะเป็นมุมแหลม แอนเทอริเดียม (antheridium) มีขนาดความกว้าง 13.816-16.459 ไมโครเมตร ความยาว

12.956-16.819ไมโครเมตร มีคอโรนูลาโอโอโกเนียม (coronula oogonium) มีขนาดความกว้าง 10.705-15.951 ไมโครเมตร ความยาว 10.306-23.751 ไมโครเมตร

(A) (B) (C)

ภาพที่ 3 ตำแหน่งต่างๆ ของ *Nitella acuminata*

(A) ในส่วนที่วงกลม คือ การแตกแขนงแบบพุ่มของสาหร่ายชนิด *Nitella acuminata*

(B) ในส่วนที่วงกลม คือ เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ แอนเทอริเดียม (antheridium)

(C) ในส่วนที่วงกลม คือ สติปูโลด (stipulode) แบบลดรูป

Nitella furcata: แทลลัสมีความสูง 72-115 มิลลิเมตร ไม่มีคอติเคติ่งเซลล์ (corticating cells) แขนงย่อยชั้นแรกมีการแตกแขนงออกจากแกนต้น 8-9 แขนง แขนงย่อย ชั้นที่สองมีการแตกแขนง 3-4 แขนง และแขนงย่อยชั้นที่สามมีการแตก 3 แขนงมีแดกทิล (dactyle) มีจำนวนสอง เซลล์ลักษณะเรียวแหลม (acuminate) end cell มีลักษณะแหลมคม โอโอโกเนียม (oogonium) รูปรีถึงเกือบกลมยาว 197.466-327.083ไมโครเมตร ความกว้าง 158.058-305.352 ไมโครเมตร แอนเทอริเดียม (oogonium) มีขนาดความกว้าง 255.751-299.168ไมโครเมตร ความยาว 263.532-306.544 ไมโครเมตร

(A) (B) (C)

ภาพที่ 4 ตำแหน่งต่างๆ ของ *Nitella furcata*

(A) ในส่วนที่วงกลมคือ เซลล์สืบพันธุ์

(B) ในส่วนที่วงกลมคือ การแตกแขนง

(C) ในส่วนที่วงกลมคือ End cell

Nitella Lhotzkyi: แทลลัสมีความสูง 60-70 มิลลิเมตรโดยแทลลัสมีลักษณะไม่มีคอติเคติ่งเซลล์ (corticating cells) ปกคลุมทั่วทั้ง แทลลัสมีลักษณะสีเขียวอ่อน แดกทิล (dactyle) มีจำนวน 5 เซลล์ลักษณะป้านมน (obtuse) และ end cell มีลักษณะแหลมคม โอโอโกเนียม (oogonium) และแอนเทอริเดียม (oogonium) อยู่เป็นคู่บริเวณฐานของแขนงยอยชั้นที่2, 3 และ4 โอโอโกเนียมรูปรีถึง เกือบกลมยาว 371.8-401.4 ไมโครเมตร ความกว้าง 263.7-350.7 ไมโครเมตร แอนเทอริเดียมมีขนาดความกว้าง 230.5-267.9 ไมโครเมตร ความยาว 231.9-291.4 ไมโครเมตร

(A) (B) (C)

ภาพที่ 5 ตำแหน่งต่างๆ ของ *Nitella lhotzkyi*

(A) ในส่วนที่วงกลมคือ การแตกแขนงย่อยที่ 1

(B) ในส่วนที่วงกลมคือ เซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ แอนเทอริเดียม (antheridium)

(C) ในส่วนที่วงกลมคือ เซลล์สืบพันธ์เพศเมีย โอโอโกเนียม (oogonium)

6. สรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจแม่น้ำแควใหญ่ตั้งแต่ต้นแม่น้ำจนถึงปลายแม่น้ำในจังหวัดกาญจนบุรี พบว่าที่บริเวณต้นแม่น้ำพบสาหร่ายไฟทั้งหมด 2 สกุล 5 สปีชี่ส์ *คือ Chara zeylanica, Chara ecolonii, Nitella acuminata, Nitella furcata, Nitella lhotzkyi* โดยพบเฉพาะบริเวณต้นแม่น้ำเนื่องจากบริเวณต้นแม่น้ำมีค่าความเป็นกรดด่างน้อยกว่าบริเวณปลายแม่น้ำ และปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโตของสาหร่ายไฟที่ทำให้บริเวณน้ำลึกและปลายแม่น้ำไม่พบสาหร่ายไฟ คือ ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (Electricity Conductivity : EC) อีกทั้งค่าของความขุ่นใสและค่าแสงส่องผ่าน (Spectrophotometer) แสดงว่าน้ำมีการเจือปนของแร่ธาตุและมีความขุ่นมากทำให้แสงผ่านลงไปยังสาหร่ายไฟได้ไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์แสง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

สาหร่ายไฟที่ควรมีการขยายเพื่อต่อยอดงานวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติทางเคมีในด้านต่างๆ เช่น ทางโภชนาการและยา

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

เพื่อผลวิจัยที่ดีควรทำวิจัยในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว เนื่องจากการเก็บสาหร่ายไฟจะเป็นที่จะต้องเก็บตัวอย่างน้ำ และสาหร่ายไฟ จึงควรเลี่ยงช่วงฝน

8. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนอุดหนุนโครงงานวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์/โครงการวิจัย จากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี ประจำปี 2564

9. เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. (2561). *รายงานแผนหลักการพัฒนาลุ่มแม่น้ำ จังหวัดกาญจนบุรี*. หน้าที่ 4-11.

กรมทรัพยากรธรณี. (2551). *การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดกาญจนบุรี. เล่มที่1*. บริษัท แอดวานซ์ วิชั่น เซอร์วิส จำกัด. กรุงเทพฯ.

กาญจนภาชน์ ลิ่วมโนมนต์. (2527). *สาหร่าย*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยงยุทธ จรรยารักษ์. (2520). *การศึกษาอนุกรมวิธานของสาหร่ายไฟในตระกูลคาเรซิอีของประเทศไทย.* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. แผนกวิชาพฤษศาสตร์. จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย.

สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 7. (2548). *ลุ่มแม่น้ำกลอง.* อำเภอเมืองราชบุรี.

เสนาะ บุญมี. (2527). *สาหร่ายไฟในนาข้าวจากทุ่งกุลาร้องไห้.* มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางเขน.หน้า 592

สมภพ อินทสุวรรณ. (2525). *รายงานวิจัยเรื่อง สาหร่ายในทะเลสาบสงขลา (ตอนนอก).* สงขลา: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

สรณัตร เทียมดาว. (2559). *สาหร่ายวิทยา Phycology.* คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.185-187.

อัฏฐพร สิทธิ์วิภูศิริ. (2558). *ความหลากหลายของสาหร่ายไฟ (วงศ์ Characeae) ในภาคกลางของประเทศไทย.* วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การใช้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกด้วยรูปแบบการเติมกล้าเชื้อที่แตกต่างกัน ในการหมักน้ำมะม่วงมหาชนก

THE USE OF LACTIC ACID BACTERIA WITH DIFFERENT INOCULATION PROTOCOLS FOR MAHAJANAKA MANGO JUICE FERMENTATION

อนงค์ อัสนีจันทรา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

E-mail: Anong141141@gmail.com

กมลวรรณ มโนวรรณ์

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: kamonmanowan@gmail.com

เบญจวรรณ ปาพันธ์

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: benjawan.Papun@gmail.com

พยุงศักดิ์ มะโนชัย

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: pkmanochai1972@gmail.com

นิอร โฉมศรี

สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

E-mail: niornchomsri@rmult.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในกระบวนการแปรรูปอาหารและเครื่องดื่มได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการใช้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในการหมักน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนก โดยใช้รูปแบบของการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์เดียว *Lactobacillus pentosus* และ *Lactobacillus johnsonii* และรูปแบบการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* (LP+LJ) ผลการศึกษาที่ได้พบว่า การหมักน้ำมะม่วงด้วยกล้าเชื้อแบคทีเรียผสมทำให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงหมักที่มีอัตราการเจริญเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกสูงสุดเท่ากับ 8.20 ล็อกซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า น้ำมะม่วงมหาชนกหมักด้วยกล้าเชื้อทั้ง 3 รูปแบบมีค่าพีเอช ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 3.30-4.10 ร้อยละ 0.20-0.54 และ 16.80-18.80 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ในด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมะม่วงมหาชนกหมักพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 608-788 มิลลิกรัมสมมูล

ของกรดแกลลิกต่อลิตร และ 11.96-13.39 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ และพบว่า น้ำมะม่วงที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกมีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยรวมดีกว่าน้ำมะม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก

คำสำคัญ: แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก การหมักให้เกิดกรดแล็กทิก มะม่วงมหาชนก

ABSTRACT

Lactic acid bacteria application in food and beverage processing continues to gain more attention. This research examined the effect of lactic acid bacteria in the fermentation of Mahajanaka Mango juice. Different inoculation protocols of bacterial single strain *Lactobacillus pentosus,* bacterial single strain *Lactobacillus johnsonii* and mixed bacterial strains of *L. pentosus* and *L. johnsonii* (LP+LJ) were used in this study. Results showed that mixed bacterial strains had the highest bacterial population growth of 8.20 log CFU/ml. The Mahajanaka mango juice products from 3 different fermentation protocols produced values of pH, total acidity and total soluble solid contents ranged from 3.30-4.10, 0.20-0.54% and 16.80-18.80 ^{o}Brix, respectively. Phenolic compounds and antioxidant activity of Mahajanaka mango juice products were between 608-788 mg equivalent of gallic acid per liter and 11.95-13.38 mg equivalent of ascorbic acid per 100 grams of samples, respectively. A trained sensory panel evaluated appearance, color, mango aroma, overall odor, taste and overall preference attributes of fermented mango juice products with the average hedonic scores at moderaetly-like.

Keywords: “Lactic Acid Bacteria” “Lactic acid fermentation” “Mahajanaka Mango”

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก (Lactic acid bacteria, LAB) มีบทบาทอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่มหมักเนื่องจากเป็นแบคทีเรียที่ปลอดภัย (Generally recognized as safe: GRAS) แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกใช้สารอาหารในวัตถุดิบเริ่มต้นผลิตกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น กรดแล็กทิก กรดแอซีติก ทำให้ค่าพีเอชของอาหารหมักที่ได้มีค่าลดลงจึงช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารได้ นอกจากนี้ ยังผลิตสารยับยั้งจุลินทรีย์อื่นๆ อีก เช่น แบคเทอริโอซิน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไดแอซีทิล รูทีริน และคาร์บอนไดออกไซด์ (Fidan et al., 2022) กระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกทำให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะรสชาติเนื้อสัมผัส และคุณค่าทางโภชนาการ นอกจากนี้ แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกบางสายพันธุ์ยังมีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกซึ่งมีประโยชน์ต่อมนุษย์และสัตว์ ทำให้เกิดสมดุลของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหาร และผลิตสารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรียก่อโรค ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกเป็นจุลินทรีย์หลักในการหมักให้เกิดกรดแล็กทิกมีอยู่อย่างมากมาย เช่น นมเปรี้ยว แหนม ไส้กรอกเปรี้ยว ปลาร้า ปลาเจ่า ปลาส้มฟัก เนยแข็ง ผักเสี้ยนดอง หน่อไม้ดอง หอมดอง และผักกาดดอง (Yodin, 2017) นอกจากนั้นแล้ว แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก ยังเป็นจุลินทรีย์ส่วนหนึ่งที่ใช้ร่วมกับจุลินทรีย์อื่นๆ ในการผลิตอาหารหมักอีกด้วย ยกตัวอย่าง เช่น การหมักของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกช่วยทำให้ซอสถั่วเหลืองมี Gamma aminobutyric acid เพิ่มขึ้น

(Yee et al., 2021) การหมักแบบมาโลแล็กทิก (Malolactic fermentation) ของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในกระบวนการหมักไวน์ทำให้ไวน์มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสที่ดีขึ้น (Zhang et al., 2022)

ด้วยคุณสมบัติที่มีประโยชน์หลากหลายทำให้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกทวีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารหมักมากยิ่งขึ้น จึงมีการศึกษาวิจัยนำแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกไปใช้ในกระบวนการผลิตอาหารหมักในรูปแบบต่างๆ อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมนมหมักที่ได้มีการพัฒนาการนำกล้าเชื้อบริสุทธิ์ไปใช้ในกระบวนการหมักเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอและมีความปลอดภัย ในขณะที่การผลิตผักและผลไม้หมักพื้นบ้านส่วนใหญ่ยังคงเป็นการหมักโดยอาศัยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ก็ได้มีงานวิจัยเพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเกี่ยวข้องกับการหมักของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในกลุ่มผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้ เช่น การหมักกะหล่ำปลี (Xia et al., 2017) การหมักน้ำผัก (Champagne et al., 2017) การหมักกิมจิ (Moon et al., 2018) การหมักแหนมเห็ด (Chomsri and Manowan, 2020; Manowan et al., 2020) การหมักเนื้อมะม่วงด้วยแบคทีเรียผลิตแล็กทิก (Kuria et al., 2021) การหมักน้ำผลไม้ (Liu et al., 2022)

มะม่วงพันธุ์มหาชนกเป็นมะม่วงที่เกิดจากการผสมพันธุ์ระหว่างมะม่วงพันธุ์ซันเซท (Sunset) และมะม่วงพันธุ์หนังกลางวัน โดยมีคุณลักษณะเด่นคือสีสันสวยงาม ผลมีขนาดและรูปทรงดี เมล็ดลีบบาง รสชาติหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย เมื่อสุกงอมหวานจัด เนื้อไม่เละ มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว อีกทั้งในมะม่วงมหาชนกมีสารต้านอนุมูลอิสระ ในกลุ่มของสารประกอบแคโรทีนอยด์ และแอนโธไซยานิน ซึ่งมีประโยชน์ทางด้านช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกัน ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ช่วยลดอัตราเสี่ยงของการเกิดโรคหัวใจ และเส้นเลือดอุดตันในสมอง และช่วยยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2560) มะม่วงพันธุ์มหาชนกสามารถนำไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มได้หลายรูปแบบ รวมถึงน้ำมะม่วงพร้อมดื่มที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคอีกด้วย (นิอร และคณะ, 2562; วัชรี และคณะ, 2558)

จากพฤติกรรมของผู้บริโภคยุคปัจจุบันที่ใส่ใจกับสุขภาพ โดยพบว่ามีการเลือกซื้ออาหารเสริมสุขภาพในรูปแบบต่างๆ กันเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้ จึงมุ่งประเด็นศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีและทางจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกด้วยการใช้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในรูปแบบต่างๆ และศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของน้ำมะม่วงหมักที่ได้ เพื่อนำไปใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำมะม่วงมหาชนกหมัก

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักน้ำมะม่วงด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก

(2) เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงหมักที่ผลิตได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 จุลินทรีย์และการเตรียมกล้าเชื้อ

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ *Lactobacillus pentosus* จากห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และ *Lactobacillus johnsonii* ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) (HiMedia Laboratories, India) ในการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

3.2 วัตถุดิบและการเตรียมน้ำมะม่วง

วัตถุดิบที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ มะม่วงพันธุ์มหาชนก ซึ่งเป็นมะม่วงที่ได้จากพื้นที่ปลูกของจังหวัดลำปาง คัดเลือกผลที่ปราศจากโรคและแมลง มีระดับความสุกเต็มที่ และมีลักษณะสีเหลืองอมแดงทั่วทั้งผล (ภาพที่ 1) สำหรับการเตรียมน้ำมะม่วงทำโดย นำผลมะม่วงไปล้างทำความสะอาด หั่นเป็นชิ้น นำไปบดละเอียด นำไปปรับคุณภาพให้ได้น้ำมะม่วงร้อยละ 25 เติมน้ำตาลทรายเพื่อปรับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้ได้ 18 องศาบริกซ์ แล้วนำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที จากนั้น จึงแบ่งน้ำมะม่วงที่ได้จำนวน 600 มิลลิลิตร ใส่ในขวดหมักขนาด 750 มิลลิลิตร และปิดฝาด้วยแอร์ล็อค

3.3 การหมักให้เกิดกรดแล็กทิก

เติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก *L. pentosus* และ *L. johnsonii* ตามแผนการทดลอง (Table 1) ให้มีจำนวนเริ่มต้นในการหมักเท่ากับ 6 ล็อคซีเอฟยู/มิลลิลิตร ลงในน้ำมะม่วงที่เตรียมไว้ในขวดหมักขนาด 750 มิลลิลิตร โดยมีสิ่งทดลองที่ 1 ซึ่งไม่เติมกล้าเชื้อเป็น Control จากนั้น นำไปหมักที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส นาน 8 วัน ตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและจุลินทรีย์ ทุก 2 วัน ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.4 การตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางจุลินทรีย์ และทางประสาทสัมผัส

การตรวจวิเคราะห์ค่าสี โดยใช้เครื่องวัดสี (NR 200 3NH Technology, China) ค่าพีเอชด้วยเครื่องวัดพีเอช (Model C831, Belgium) ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไทเทรต (Choi et al., 2021) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้รีแฟรคโตมิเตอร์ (Refractometer) ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดตามวิธีดัดแปลงจาก Spínola et al. (2015) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant activity) ทำโดยใช้เทคนิค ABTS test ตามวิธีดัดแปลงจาก Wongputtisin et al. (2007) ตรวจวิเคราะห์จุลินทรีย์ผลิตกรดแล็กทิกด้วยเทคนิค spread plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ de Man, Rogosa and Sharpe (MRS) บ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9-point hedonic scale

Quality	Values
Color	
L*	47.92± 0.19
a*	10.20±0.02
b*	35.78±0.11
Chroma	37.21± 0.02
Hue	74.09±0.14
pH	3.91±0.03
Total acidity (%)	0.72±0.34
TSS (°Brix)	19.20±0.00
AOA (mg/ 100g)	56.04±1.46
TPC (mg GAE/L)	1760±23

ภาพที่ 1 ลักษณะผลมะม่วงมหาชนกและคุณภาพทางเคมีของที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

AOA (Antioxidant activity); ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ, TPC (Total phenolic content); สารประกอบฟีนอลทั้งหมด

ตารางที่ 1 การเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในการหมักน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนก

สิ่งทดลอง	รูปแบบการเติมกล้าเชื้อ	รหัส
1	-	Control
2	*Lactobacillus pentosus*	LP
3	*Lactobacillus johnsonii*	LJ
4	*Lactobacillus pentosus* +*Lactobacillus johnsonii*	LP+LJ

3.5 การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการศึกษา แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ ANOVA (Analysis of variance) จากนั้น เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติแบบ Duncan's new multiple's range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. ผลการวิจัย

4.1 คุณภาพของมะม่วงมหาชนกที่ใช้เป็นวัตถุดิบ

ลักษณะของมะม่วงมหาชนกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีลักษณะสีเหลืองอมแดง (ภาพที่ 1) รสชาติหวาน และมีกลิ่นที่เป็นเอกลักษณ์ของมะม่วงมหาชนก เมื่อนำมะม่วงไปเตรียมเนื้อมะม่วงมหาชนกบดสำหรับเตรียม น้ำมะม่วง โดยนำเนื้อมะม่วงบดไปวิเคราะห์ค่าสีพบว่า มีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง-เขียว (a*) ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ (Chroma) และค่าเฉดสี (Hue) เฉลี่ยเท่ากับ 47.92, 10.20, 35.78, 37.21 และ74.09 ตามลำดับ (ภาพที่ 1) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับลักษณะสีของเนื้อมะม่วงที่ได้มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ (Barron-García et al., 2021; Wang et al., 2021) ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า เนื้อมะม่วงบดมีค่าพีเอช ปริมาณกรด ทั้งหมด และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเฉลี่ยอยู่ที่ 3.91 ร้อยละ 0.72 และ 19.20 องศาบริกซ์ ซึ่งปริมาณ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสามารถบ่งชี้ถึงปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ในเนื้อมะม่วงที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้มะม่วง ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการศึกษานี้มีรสเปรี้ยวอมหวาน มีค่าอัตราส่วนของปริมาณน้ำตาลต่อกรดทั้งหมดเท่ากับ 26.66 ในด้านคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและพฤกษเคมีพบว่า ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณ สารประกอบฟีนอลทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 56.04 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง และ 1760 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4.2 การเปลี่ยนแปลงทางทางเคมี และจุลินทรีย์ในระหว่างการหมัก

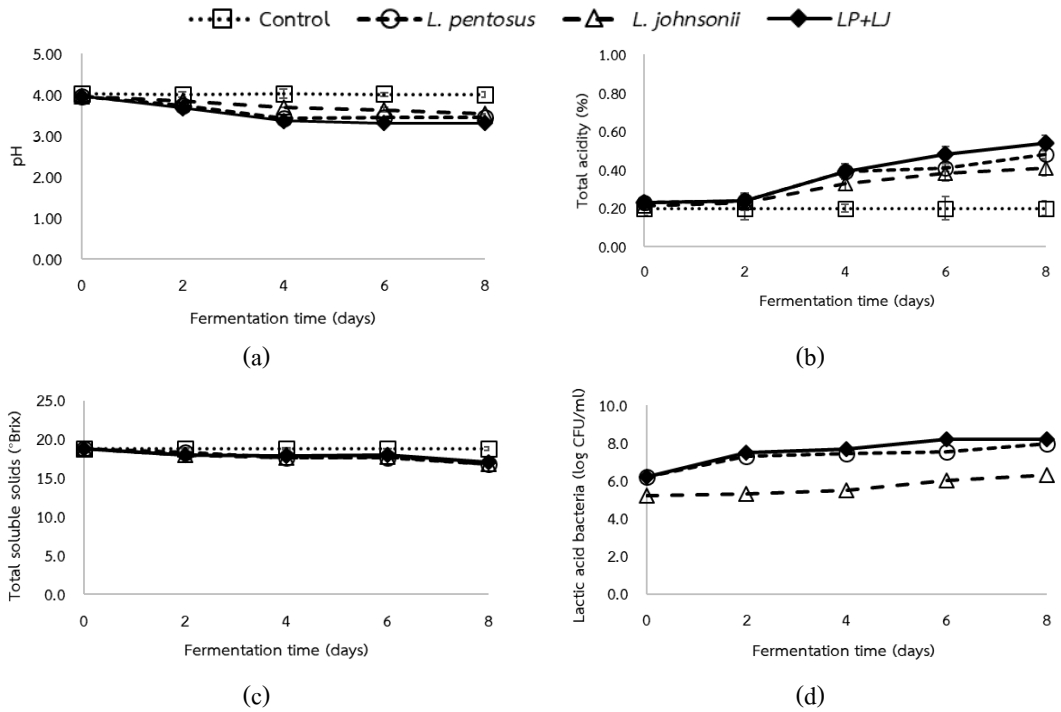
การหมักน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกด้วยการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกทั้ง 3 รูปแบบ เปรียบเทียบกับสิ่งทดลองควบคุมที่ไม่เติมกล้าเชื้อแบคทีเรียพบว่า ตัวอย่างน้ำมะม่วงที่เติมกล้าเชื้อมีค่าพีเอชและ ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณกรดทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระหว่าง การหมัก (ภาพที่ 2) โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 3.30 - 4.10, 16.80 - 18.80 องศาบริกซ์ และร้อยละ 0.20 - 0.54 ตามลำดับ โดยสามารถสังเกตเห็นได้ว่า น้ำมะม่วงที่มีการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียในรูปแบบผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* (LP+LJ) มีการเปลี่ยนแปลงลดลงของค่าพีเอชและการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของปริมาณกรด ทั้งหมดมากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมะม่วงของสิ่งทดลองควบคุม (ไม่เติมกล้าเชื้อ) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงค่า พีเอช ค่าของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณกรดทั้งหมดในช่วงระยะเวลาการศึกษานาน 8 วัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่วนการเปลี่ยนแปลงจำนวนแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกพบว่า แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก มีความสามารถในการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้น 2 ล็อกซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร ในน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนก โดยมี การเปลี่ยนแปลงจำนวนอยู่ในช่วง 5.20-8.20 ล็อกซีเอฟยูต่อมิลลิลิตร จำนวนแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในตัวอย่าง ที่เติมกล้าเชื้อ *L. pentosus* แบบสายพันธุ์เดียวและในรูปแบบการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* (LP+LJ) มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มจำนวนอย่างเห็นได้ชัดในช่วง 2 วันแรกของการหมัก ในขณะที่ *L. johnsonii* มีระยะพักตัว 2 วัน แล้วจึงมีการเจริญเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ก็ยังพบว่ามีการเจริญได้น้อยกว่า

รูปแบบการเติมกล้าเชื้อ *L. pentosus* แบบสายพันธุ์เดียว และรูปแบบการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* (LP+LJ)

4.3 คุณภาพของน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกหลังจากการหมัก

น้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกที่หมักได้มีความสว่าง (L*) ค่าสีแดง-เขียว (a*) ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b*) ค่าที่แสดงความบริสุทธิ์ (Chroma) และค่าเฉดสี (Hue) แสดงในตารางที่ 2 และพบว่า การเติมกล้าเชื้อและการไม่เติมกล้าเชื้อผลิตกรดแล็กทิกในน้ำมะม่วงไม่ส่งผลต่อความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าสีและค่าความขุ่นของน้ำมะม่วงหมักที่ได้ ($p>0.05$)

ผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการหมักทั้ง 4 สิ่งทดลอง มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.29-4.15 ปริมาณกรดทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.19-0.53 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 16.80-18.81 องศาบริกซ์ (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ น้ำมะม่วงที่ผ่านกระบวนการหมักมีค่าพีเอชที่ต่ำกว่าและมีปริมาณกรดทั้งหมดที่สูงกว่าน้ำมะม่วงที่ผลิตโดยไม่ผ่านกระบวนการหมัก แสดงถึงการเกิดกรดอินทรีย์ต่างๆ ในกระบวนการหมัก จึงทำให้พีเอชของตัวอย่างน้ำมะม่วงหลังการหมักมีค่าลดลงสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมด และการหมักน้ำมะม่วงหมักโดยการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียในรูปแบบผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* ทำให้ได้น้ำมะม่วงหมักที่มีค่าพีเอชต่ำสุด และมีปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุด ($p\leq0.05$) ในด้านปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่า มีค่าอยู่ระหว่าง 608-788 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแกลลิกต่อลิตร และ 11.96-13.39 มิลลิกรัมสมมูลของกรดแอสคอร์บิกต่อหนึ่งร้อยกรัมตัวอย่าง โดยพบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดในตัวอย่างน้ำน้ำมะม่วงหมักที่มีการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียในรูปแบบผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* มีค่าสูงสุด รองลงมาคือ ตัวอย่างน้ำมะม่วงหมักที่มีการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์เดียวของ *L. johnsonii* และ *L. pentosus* ตามลำดับ



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (a) ปริมาณกรดทั้งหมด (b) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (c) และจำนวนแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในระหว่างการหมัก (d)

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกหมักที่มีการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกรูปแบบที่แตกต่างกันพบว่า น้ำมะม่วงหลังจากการหมักด้วยการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก *L. johnsonii* และการเติมกล้าเชื้อผสมระหว่าง *L. pentosus* และ *L. johnsonii* ได้รับคะแนนความชอบด้านกลิ่นมะม่วง กลิ่นโดยรวม และรสชาติ สูงกว่าสิ่งทดลองที่มีการเติมแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกสายพันธุ์เดียว *L. pentosus* และน้ำมะม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการหมัก

ตารางที่ 2 ค่าสีและค่าความขุ่นของผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงมหาชนกหมัก

รหัส	L*(^{ns})	a*(^{ns})	b*(^{ns})	Chroma ^{ns}	Hue ^{ns}	ความขุ่น (NTU)^{ns}
Control	33.25±0.02	0.82±0.01	4.99±0.01	5.06±0.02	80.67±0.04	1051.00±0.40
LP	33.35±0.01	0.81±0.01	5.09±0.01	5.15±0.03	80.96±0.02	1064.00±9.89
LJ	33.04±0.01	0.82±0.01	4.62±0.02	4.69±0.01	79.94±0.02	1071.50±0.70
LP+LJ	33.20±0.00	0.83±0.01	4.48±0.01	4.56±0.02	79.50±0.01	1076.00±0.00

ตารางที่ 3 คุณภาพทางทางเคมีของน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกหมัก

Treatment	pH*	Total acidity (%)*	Total soluble solid content (^{o}Brix) *	AOA (mg /100 mL) *	TPC (mg/L) *
Control	4.15±0.15^{a}	0.19±0.01^{d}	18.81±0.01^{a}	12.64±0.01^{b}	608±8^{d}
LP	3.43±0.01^{b}	0.47±0.01^{b}	16.81±0.02^{c}	12.27±0.55^{b}	671±15^{c}
LJ	3.51±0.02^{b}	0.40±0.01^{c}	16.81±0.01^{c}	13.38±0.31^{a}	750±13^{b}
LP+LJ	3.29±0.01^{c}	0.53±0.01^{a}	17.03±0.03^{b}	11.95±0.64^{b}	788±15^{a}

หมายเหตุ: * หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

AOA; Antioxidant activity as mg ascorbic acid equivalent /100 mL, TPC; Total phenolic content

ตารางที่ 4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงมหาชนกหมัก

Treatment	Appearance^{ns}	Color^{ns}	Mango aroma*	Overall aroma*	Flavor*	Overall preference^{ns}
Control	7.89±0.67	7.87±0.52	6.48±0.68^{b}	6.51±0.50^{b}	6.24±0.43^{c}	7.07±0.05
L.p	7.79±0.55	7.75±0.73	6.96±1.37^{a}	7.03±0.90^{a}	6.82±1.13^{b}	7.10±1.01
L.j	7.86±0.69	7.82±0.80	7.31±0.96^{a}	7.37±0.94^{a}	7.51±1.32^{a}	7.48±1.08
L.p+L.j	7.89±0.61	7.89±0.77	7.34±1.00^{a}	7.37±1.01^{a}	7.53±1.23^{a}	7.44±1.18

หมายเหตุ: * หมายถึง อักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns หมายถึง ตัวเลขในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5. อภิปรายผล

มะม่วงพันธุ์มหาชนกที่ใช้ในการศึกษานี้ มีลักษณะผลสีเหลืองอมแดงและมีความสุกเต็มที่ เนื้อของมะม่วงมหาชนกมีค่าสีใกล้เคียงกับลักษณะสีของเนื้อมะม่วงที่ได้มีการรายงานไว้ก่อนหน้านี้ (Barron-García et al., 2021; Wang et al., 2021) ผลการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนกมีค่า

สูงกว่าข้อมูลที่วัชรี เทพโยธิน และคณะ (2558) ได้รายงานไว้ (11.80 องศาบริกซ์) และเนื้อมะม่วงสุกบดที่ได้จัดเป็นอาหารในกลุ่มที่มีความเป็นกรดสูง (high acid food) ตามการจัดแบ่งกลุ่มอาหารตามคุณสมบัติของพีเอช (Potter, 1986)

การนำเอาแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกไปใช้เป็นกล้าเชื้อในกระบวนการแปรรูปอาหารและเครื่องดื่มได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในการศึกษาครั้งนี้ คัดเลือกแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกไปใช้ในการหมักน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกในรูปแบบของการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียที่แตกต่างกัน แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกใช้สารอาหารต่างๆ ในการเจริญเพิ่มจำนวน ซึ่งสารอาหารเหล่านี้บางส่วนมีคุณสมบัติเป็นของแข็งที่ละลายได้อยู่ในน้ำมะม่วง เช่น น้ำตาล วิตามิน แร่ธาตุ (Choi et al., 2019; Guan et al., 2020; Kuria et al., 2021) จึงส่งผลให้ค่าของแข็งที่ละลายได้ในระหว่างการหมักน้ำมะม่วงมีค่าลดลง ทั้งนี้ แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกสามารถใช้น้ำตาลในการสร้างกรดอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ และเมแทบอไลต์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการหมักน้ำมะม่วง สารประกอบต่างๆ ที่แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักยังสามารถส่งผลกระทบต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้อีกด้วย (Hutkins et al., 1993; Choi et al., 2021) ทำให้ได้น้ำมะม่วงที่เหมาะสมในการนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีความสมดุลของรสชาติความหวานและความเปรี้ยว และคุณสมบัติของกรดที่เกิดขึ้นและค่าพีเอชที่ลดลงยังช่วยปรับสภาพของน้ำมะม่วงให้ มีอายุการเก็บรักษาที่นานเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองยังแสดงให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงการเจริญที่แตกต่างกันของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกที่ใช้ในการหมักครั้งนี้ แบคทีเรีย *L. johnsonii* มีการปรับตัวนาน 2 วัน และมีการเจริญเพิ่มจำนวนได้น้อยกว่า *L. pentosus* ทั้งในสภาวะการเติมกล้าเชื้อชนิดเดียวและกล้าเชื้อผสม ซึ่งน่าจะอธิบายได้จากคุณลักษณะของ *L. johnsonii* เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศในการเจริญอย่างยิ่ง (Lai et al., 2009) การเติมกล้าเชื้อผสม *L. johnsonii* และ *L. pentosus* ในน้ำมะม่วงที่หมักนาน 6 วัน สามารถสังเกตเห็นจำนวนของแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกที่เพิ่มจำนวนสูงสุดเปรียบเทียบกับรูปแบบการเติมกล้าเชื้ออื่นๆ ข้อมูลที่ได้นี้อาจแสดงถึงการส่งเสริมการเจริญร่วมกันของแบคทีเรียทั้งสองชนิดในน้ำมะม่วงที่ใช้เป็นซับสเตรตในการทดลองครั้งนี้

การเพิ่มขึ้นของเซลล์แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในตัวอย่างน้ำมะม่วง และผลกระทบของเมแทบอไลต์ที่แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกสร้างขึ้น เช่น กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ เอทานอล ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ไดแอซีทิล แบคเทอริโอซิน (Fidan et al., 2022) สามารถส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมะม่วงหมักในการทดลองครั้งนี้ เช่น ค่าพีเอชที่ลดลง ปริมาณกรดแล็กทิกที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมะม่วงที่มีกระบวนการผลิตโดยไม่เติมแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในการหมัก แต่การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ไม่มีอิทธิพลต่อค่าสีและคุณลักษณะความขุ่นของน้ำมะม่วงหลังจากการหมัก แสดงให้เห็นได้ว่าสารประกอบ และสารแขวนลอยต่างๆ ที่พบอยู่ในตัวอย่างน้ำมะม่วงนั้นๆ (Choi และคณะ, 2019; Guan และคณะ, 2020) มีลักษณะที่ค่อนข้างคงตัวในสภาวะการหมักที่ศึกษาในครั้งนี้ สอดคล้องกับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏและสีของน้ำมะม่วงหมักทั้ง 4 สิ่งทดลอง ที่ได้รับการประเมินคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน *L. pentosus* และ *L. johnsonii* มีความสามารถในการใช้ซับสเตรตน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกในการผลิตกรดได้แตกต่างกัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของตัวอย่างน้ำมะม่วงที่เติมกล้าเชื้อรูปแบบสปีชีส์เดียวแสดงให้เห็นว่า *L. pentosus* สามารถผลิตกรดแล็กทิกได้ดีกว่า *L. johnsonii* ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนแบคทีเรีย *L. pentosus* ในระหว่างการหมักที่มีจำนวนสูงกว่า *L. johnsonii* แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกต่างจีนัสหรือสปีชีส์สามารถผลิตกรดอินทรีย์ได้แตกต่างกันก็ปรากฏในผลการศึกษาวิจัยอื่นเช่นกัน (อนงค์ และคณะ, 2564; Liu et al.,

2022) โดยมีข้อสังเกตเพิ่มเติมด้านปริมาณกรดทั้งหมดในน้ำมะม่วงหมักที่ได้จากการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* มีค่าสูงมากกว่าตัวอย่างน้ำมะม่วงที่เติมกล้าเชื้อรูปแบบสปีชีส์เดียว ซึ่งอาจจะสามารถอธิบายได้จากภาวะอยู่ร่วมกันของ *L. pentosus* และ *L. johnsonii* ที่ส่งเสริมการผลิตกรดชนิดต่างๆ ได้ดีกว่ารูปแบบสปีชีส์เดียวในน้ำมะม่วงที่ใช้เป็นซับสเตรตในการศึกษาครั้งนี้

ในขณะที่ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นมะม่วง กลิ่นโดยรวม และรสชาติของน้ำมะม่วงมหาชนกที่มีการเติมแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก *L. johnsonii* และการเติมกล้าเชื้อผสมระหว่าง *L. pentosus* และ *L. johnsonii* ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สุด มีคะแนนเฉลี่ย 7.34 7.37 และ 7.53 คะแนน ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับชอบมาก (ตารางที่ 4) ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสทำให้ทราบถึงผลกระทบของการเติมกล้าเชื้อรูปแบบจุลินทรีย์ชนิดเดียวและกล้าเชื้อผสมในการทดลองครั้งนี้ต่อการยอมรับของผู้ทดสอบชิมที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้ หากใช้เกณฑ์การพิจารณาด้านความชอบที่มีต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า การใช้เชื้อแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกผสมระหว่าง *lactobacillus pentosus* และ *lactobacillus johnsonii* ในการหมักน้ำมะม่วงมหาชนก ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสทุกคุณลักษณะสูงกว่าการใช้กล้าเชื้อในรูปแบบอื่น

6. สรุป

การศึกษาผลของรูปแบบการเติมกล้าเชื้อที่แตกต่างกันในการหมักน้ำมะม่วงพันธุ์มหาชนกสามารถสรุปได้ว่า การหมักน้ำมะม่วงหมักโดยการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียในรูปแบบผสม *L. pentosus* และ *L. johnsonii* ทำให้ได้น้ำมะม่วงหมักที่มีค่าพีเอชต่ำสุด ปริมาณกรดทั้งหมดสูงสุดและปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมกล้าเชื้อแบคทีเรียสายพันธุ์เดียวของ *L. johnsonii* และ *L. pentosus* และน้ำมะม่วงที่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยรวมดีกว่าน้ำมะม่วงที่ไม่ผ่านกระบวนการหมักด้วยแบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิก

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การใช้แบคทีเรียผลิตกรดแล็กทิกในการหมักน้ำมะม่วงมหาชนกครั้งนี้ แสดงความเป็นไปได้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะม่วงในรูปแบบเครื่องดื่มที่มีจุลินทรีย์ผสม ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแนวคิดในการพัฒนาอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ที่มีส่วนผสมของพฤกษเคมีที่เป็นจุดเด่นของมะม่วง และคุณสมบัติการเป็นอาหารเชิงหน้าที่ของจุลินทรีย์มีชีวิต

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในด้านองค์ประกอบทางเคมีเชิงลึก เช่น ชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คุณสมบัติเชิงหน้าที่ในเชิงการแพทย์ ตลอดจนอายุการเก็บรักษา เป็นต้น

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้ดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

นิอร โฉมศรี กมลวรรณ มโนวรรณ์ เบญจวรรณ ปาพันธ์ และอัมฤทธิ์ สีกล่อม. (2562). ผลของการเสริมสารอาหารต่อการหมักแบบสองขั้นตอนของน้ำมะม่วง. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม*, *3*(2), 23-32.

วัชรี เทพโยธิน วาสนา รุ่งตระกูลไทย และสายสมร บุตรพรม. (2558). การยอมรับของผู้บริโภคและคุณภาพของน้ำมะม่วงมหาชนกพร้อมดื่ม. *วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*, ฉบับพิเศษ การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5, 131-140.

Barron-García, O.Y., Gaytan-Martínez, M., Ramírez-Jim´enez, A.K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G. and Morales-S´ anchez, E. (2021). Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes. *LWT - Food Science and Technology,* 143, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111113.

Champagne, C.P., Moineau, S., Lafleur, S. and Savard, T. (2017). The effect of bacteriophages on the acidification of a vegetable juice medium by microencapsulated *Lactobacillus plantarum*. *Food Microbiology*, 63, 28-34.

Choi, Y., Yong, S., Lee, M., Park, S., Yun, Y., Park, S. and Lee, M. (2019). Changes in volatile and non-volatile compounds of model kimchi through fermentation by lactic acid bacteria. *LWT - Food Science and Technology*, 105, 118-126.

Choi, S., Yang, S. and Yoon, K. (2021). Lactic acid bacteria starter in combination with sodium chloride controls pathogenic *Escherichia coli* (EPEC, ETEC, and EHEC) in kimchi. *Food Microbiology*, 100, DOI: 10.1016/j.fm.2021.103868.

Chomsri, N. and Manowan, K. (2020). Quality comparison of fermented oyster mushroom sausage produced from different processes. *Proceeding: The 4th Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi Conference (4th RUSCON), Thailand, during 15-16 July 2020*, Phra Nakhon Sri Ayutthaya. Thailand, 604-612.

Fidan, H., Esatbeyoglu, T., Simat, V., Trif, M., Tabanelli, G., Kostka, T., Montanari, C., Ibrahim, A. S. and Ozogul, F. (2022). Recent developments of lactic acid bacteria and their metabolites on foodborne pathogens and spoilage bacteria: Facts and gaps. *Food Bioscience*, 47, https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101741.

Guan, Q., Zheng, W., Huang, T., Xiao, Y., Liu, Z., Peng, Z., Gong, D., Xie, M. and Xiong, T. (2020). Comparison of microbial communities and physiochemical characteristics of two traditionally fermented vegetables. *Food Research International*, 128, DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108755.

Hutkins, W, R. and Nannen, L. N. (1993). pH Homeostasis in lactic acid bacteria. *Journal of Dairy Science*, 76(8), 2354-2365.

Kuria, W, M., Matofari, W, J. and Nduko, M, J. (2021). Physicochemical, antioxidant, and sensory properties of functional mango (*Mangifera indica* L.) leather fermented by lactic acid bacteria. *Journal of Agriculture and Food Research,* https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100206.

Lai, K.K., Lorca, G.L. and Gonzalez, C.F. (2009). Biochemical properties of two cinnamoyl esterases purified from a *Lactobacillus johnsonii* strain isolated from stool samples of diabetes-resistant rats. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(15), 5018–5024.

Liu, Y., Gu, P., Laaksonen, O., Wei, B., Zhu, Y., Zhang, B., Zhu, B. and Li, H. (2022). Lactic acid bacteria incubation and aging drives flavor enhancement of goji berry juice. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105, https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104202.

Manowan, K., Wongputtisin, P., Tassanaudom, U., Sassa-Deepaeng, T. and Chomsri, N. (2020). Quality characteristics of fermented mushroom and vegetable product using a mixed starter of lactic acid bacteria. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering*, 3(1), 25-31.

Moon, S, H., Kim, C, R. and Chang, H, C. (2018). Heterofermentative lactic acid bacteria as a starter culture to control kimchi fermentation. *LWT - Food Science and Technology*, 88, 181–188.

Potter, N.N. (1986). Food science. *New York*: Van Nostrand Reinhold Company.

Spínola, V., Pinto, J. and Castilho, P, C. (2015). Identification and quantification of phenolic compounds of selected fruits from Madeira Island by HPLC-DAD–ESI-MSn and screening for their antioxidant activity. *Food Chemistry*, 173, 14–30.

Wang, J., Xie, B. and Sun, Z. (2021). Quality parameters and bioactive compound bioaccessibility changes in probiotics fermented mango juice using ultraviolet-assisted ultrasonic pre-treatment during cold storage. *LWT - Food Science and Technology*, 137, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110438.

Wongputtisin, P., Khanongnuch, C., Pongpiachan, P and Lumyoung, S. (2007). Antioxidant activity improvement of soybean meal by microbial fermentation. *Research Journal of Microbiology*, 2(7), 577-583.

Xia, Y., Liu, X., Wang, G., Zhang, H., Xiong, Z., Sun, Y. and Ai, L. (2017). Characterization and selection of *Lactobacillus brevis* starter for nitrite degradation of Chinese pickle. *Food Control*, 78, 126-131.

Yee, C.S., Sohedein, M.N.A., Suan, O.P., Loen, A.W.W., Rahim, M.H.A., Soumaya, S., Ilham, Z. and Wan-Mohtar, W.A.A.Q. (2021). The production of functional γ-aminobutyric acid Malaysian soy sauce koji and moromi using the trio of *Aspergillus oryzae* NSK, Bacillus cereus KBC, and the newly identified *Tetragenococcus halophilus* KBC in liquid-state fermentation. *Future Foods*, 4, https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100055.

Yodin, K. (2017). Application of lactic acid bacteria in fermented foods. *Food Journal*, 47(4), 76-82.

Zhang, S., Xing, X., Chu, Q., Sun, S. and Wang, P. (2022). Impact of co-culture of *Lactobacillus plantarum* and *Oenococcus oeni* at different ratios on malolactic fermentation, volatile and sensory characteristics of mulberry wine. *LWT - Food Science and Technology*, 169, https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113995.

ห้องที่ 4:

เทคโนโลยีสารสนเทศ

ระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียน กรณีศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

A CHATBOT RESPOND AUTOMATICALLY SYSTEM FOR EDUCATIONAL CONSULTING: A CASE STUDY SCHOOL OF INFORMATION TECHNOLOGY SRIPATUM UNIVERSITY

พิรพัฒน์ จันทร

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pirapat.ch@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติสำหรับให้คำปรึกษาทางการเรียนของนักศึกษาในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ (2) เพื่อทดลองใช้ระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติการให้คำปรึกษาทางการเรียนในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม โดยการพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติ สามารถแบ่งออก 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของการเก็บข้อมูลคำถาม และคำตอบของแต่ละหน่วยงานที่เคยให้คำปรึกษาแก่นักศึกษาในรอบ 2 ปีที่ผ่านมาเป็นต้นแบบในการตอบคำถามอัตโนมัติ โดยมีการนำข้อมูลคำถามที่ถูกสกัดมาจัดหมวดหมู่ได้ 4 หมวดหมู่ ได้แก่ การลงทะเบียน, การเงิน, วิชาการ, กิจการนักศึกษา ซึ่งแต่ละหมวดหมู่มีจำนวน 500 คำถาม และเก็บด้วยแอปพลิเคชันกูเกิลชีท ส่วนของการวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ในการตอบคำถามนั้น ใช้แพลตฟอร์มไดอะล็อกโฟลว์ และส่วนการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานนั้นใช้แอปพลิเคชันไลน์ สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อระหว่างแอปพลิเคชันไลน์กับแอปพลิเคชันกูเกิลชีทนั้นใช้ภาษาแอปพลิเคชันสคริปต์ การประเมินผลเป็นแบบสอบถามการประเมินความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่างที่เป็นเจ้าหน้าที่/อาจารย์ จำนวน 10 คนและนักศึกษา จำนวน 190 คน ที่มีต่อการใช้งานระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติ โดยใช้หลักการทางสถิติ การหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษา พบว่า ภาพรวมจากการประเมินความพึงพอใจมีค่าคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.09 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.84 ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

คำสำคัญ: ปัญญาประดิษฐ์, แชทบอท, ไดอะล็อกโฟลว์, ระบบให้คำปรึกษาทางการเรียน

ABSTRACT

The objectives of this research are (1) to develop an automated chatbot system for educational consulting of students in the School of Information Technology; (2) to test an automated chatbot system for educational counseling in the School of Information Technology. Sripatum University by developing an automated response chatbot system can be divided into 3 parts, namely the part of the questionnaire. and the answers of each department that have been advising students in the past 2 years are models for answering questions automatically. The extracted question data were categorized into 4 categories: Finance, Academy,

Student Affairs, each category has 500 questions and it stored with Google Sheet Application, the analysis of user needs is to answer questions is based on the Dialogflow Platform and the section development of the user interface uses the LINE application. For programming to connect between the Line Application and the Google Sheet application is used the App Script language The evaluation was satisfaction assessment questionnaire with a sample of 10 staff / teachers and 190 students who have used a Chatbot Response Automatically System, by using statistical principles averaging and standard deviation. The results showed that the overall satisfaction assessment the mean score was 4.09, the standard deviation was 0.84, which was at a high level of satisfaction.

Keywords: AI, Chatbot, DialogFlow, Educational Consulting System

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม มีศูนย์ให้คำปรึกษาทางการเรียนการสอนแก่นักศึกษา ด้วยสถานการณ์โควิด 19 ที่มีการเรียนการสอนแบบออนไลน์และมีการทำงานแบบอยู่ที่บ้าน (Work Form Home) การให้คำปรึกษาแก่นักศึกษาจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีแบบออนไลน์มาสนับสนุน แต่ยังประสบปัญหาในการให้คำปรึกษาในกรณีที่มีนักศึกษามาขอคำปรึกษาจำนวนมากในเวลาเดียวกัน และขอคำปรึกษาในช่วงนอกเวลาทำงาน ทำให้การให้คำปรึกษาไม่ตอบสนองต่อความต้องการดังกล่าว จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการการให้คำปรึกษาของศูนย์ให้คำปรึกษาทางการเรียนการสอน ให้การบริการมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลคำถาม-คำตอบที่ศูนย์ให้คำปรึกษาทางการเรียนการสอน ที่เคยให้คำปรึกษาแก่นักศึกษาในอดีตมาเป็นฐานข้อมูลในการเรียนรู้เพื่อใช้ในระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติ โดยมีการจำแนกกลุ่มของคำถาม-คำตอบเป็นกลุ่มเพื่อเหมาะสมกับการให้บริการที่มีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียนของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ของมหาวิทยาลัยศรีปทุม

(2) เพื่อทดลองใช้ระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติการให้คำปรึกษาทางการเรียนในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎี

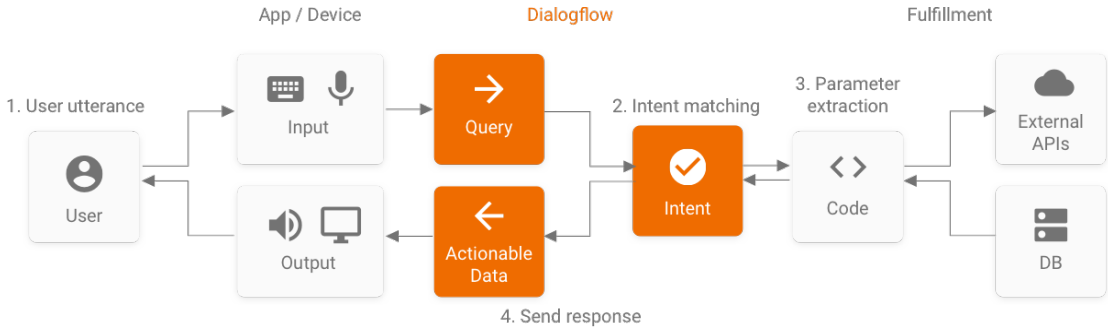
ระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียน กรณีศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ผู้วิจัยได้รวบรวมแนวคิดทฤษฎีและหลักการต่างๆ จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

AI ย่อมาจาก Artificial Intelligence คือ ปัญญาประดิษฐ์ โปรแกรมที่ถูกเขียนและพัฒนาให้มีความฉลาด มีความสามารถคิด วิเคราะห์ วางแผน และตัดสินใจได้ จากการประมวลผลของฐานข้อมูลขนาดใหญ่ และยังสามารถดัดแปลงการประมวลผล ประยุกต์ ให้เป็นไปตามสถานการณ์ต่างๆ

การประมวลผลภาษาธรรมชาติหรือ Natural language processing (NLP) เป็นวิทยาการแขนงหนึ่งในหมวดหมู่ของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์หรือ Artificial Intelligence ซึ่งช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจตลอดจนตีความ และใช้งานภาษาปกติที่มนุษย์ใช้สื่อสารได้ โดยเทคโนโลยี NLP นี้ มีรากฐานจากวิทยาการหลากหลายสาขาด้วยกัน โดยเฉพาะด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์ (Computer Science) และภาษาศาสตร์เชิงคำนวณ (Computational Linguistics) เพื่อวัตถุประสงค์ในการปิดช่องว่างทางการสื่อสารระหว่างมนุษย์และระบบคอมพิวเตอร์

แชทบอท (Chatbot) คือ ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อช่วยตอบกลับการสนทนาผ่านข้อความหรือเสียงแบบอัตโนมัติและรวดเร็วซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งบน แอปพลิเคชัน LINE / แอปพลิเคชัน Facebook / แอปพลิเคชัน Instagram รวมทั้งบนเว็บไซต์ด้วยหลักการทำงาน แชทบอท วิเคราะห์คำถามของผู้ใช้งาน โดยจะตรวจสอบหาคำหรือข้อความที่เหมือนหรือคล้ายกับคีย์เวิร์ดที่กำหนดไว้ตอนพัฒนาตอบกลับผู้ใช้งาน เมื่อหาคำที่คล้ายกับคีย์เวิร์ดได้แล้วจะตอบกลับผู้ใช้งานในคำตอบที่เหมาะสมและรวดเร็วที่สุด

การสร้างระบบแชทบอทให้คำปรึกษาอัตโนมัติโดยประยุกต์ใช้ไดอะล็อกโฟลว์ เริ่มจากผู้ใช้ทำยืนยันตัวตนเข้าโปรแกรมไดอะล็อกโฟลว์ เพื่อสร้างส่วนเรียนรู้คำถามคำตอบให้ระบบแชทบอทอัตโนมัติหรือที่เรียกว่า อินเทนท์ (Intent) ที่มีการเชื่อมโยงข้อมูลผ่านค่าพารามิเตอร์ด้วยการเขียนโค้ดภาษาสคริปต์เพื่อติดต่อกับข้อมูลในระบบฐานข้อมูลหรือส่วนติดต่อแอปพลิเคชันจากภายนอก (External API) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติผ่านโปรแกรมไดอะล็อกโฟลว์

3.2 โปรแกรมและภาษาที่ใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยี

โปรแกรม LINE Official Account เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการสนทนากลุ่ม โดย Messaging API เป็นตัวทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่จะเชื่อมต่อเครื่องแม่ข่าย (Server) เข้ากัน ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างบริการที่ผู้พัฒนาต้องการ ผ่านข้อความและโต้ตอบกับผู้ใช้ในลักษณะที่เรียกว่า แชทบอท

กูเกิลชีท (Google Sheets) เป็นแอปพลิเคชันในกลุ่มของ กูเกิลไดรฟ์ (Google Drive) ซึ่งเป็นนวัตกรรมของกูเกิล (Google) มีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) คือสามารถสร้างคอลัมน์ (Column) และแถว (Row) สามารถใส่ข้อมูลต่างๆ ลงไปในเซลล์ (Cell) ได้ และคำนวณสูตรต่างๆได้ และที่มีลักษณะพิเศษคือสามารถสนับสนุนการทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ได้ (Levas, Eric de Leon, Dionisio Li, Yanyan, 2021)

ไดอะล็อกโฟลว์ (DialogFlow) คือ platform สำหรับสร้างแชทบอทของ Google ที่ใช้ machine learning ด้าน Natural Language Processing (NLP) มาช่วยในทำความเข้าใจถึงความต้องการ (intent) และสิ่งที่ต้องการ (entity) ในประโยคสนทนาของผู้ใช้งาน และตอบคำถามตามความต้องการของผู้ใช้งาน ตามกฎ หรือ flow ที่

ผู้พัฒนาวางเอาไว้ ซึ่งไดอะล็อกโฟลว์จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของประโยคที่แชทบอทรับมา ว่าไม่จำเป็นต้องตรงตามเงื่อนไข แบบ rule based ก็สามารถเข้าใจถึงความต้องการของผู้ใช้งานได้

ภาษากูเกิลแอปพลิเคชันสคริปต์ (Google Apps Script) เป็นภาษาสคริปต์ที่อยู่บนพื้นฐานของภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) สามารถใช้งานได้และพัฒนาต่อยอดได้ทันทีโดยไม่ต้องติดตั้งอะไรเพิ่มเติม และสามารถเรียกใช้บริการต่างๆของกูเกิล (Google Service) ได้มากมาย รวมถึงกูเกิลชีท เพื่อสร้างฟังก์ชันการทำงานที่มีลักษณะการทำงานที่ทำหลายๆขั้นตอนลดลงเหลือเพียงแค่คลิกเดียว อีกทั้งยังสามารถตั้งเวลาให้ทำงานอัตโนมัติที่เรียกว่าการติดตั้งทิกเกอร์ (Trigger) เพื่อให้ทำงานเมื่อเกิดแอ็กชัน (Action) ต่างๆ ได้ โดยกูเกิลสคริปต์ จะทำงานได้ 3 แบบคือ ทำงานโปรแกรมเดียว (Standalone) ทำงานร่วมกับแอปพลิเคชันอื่นๆ ของกูเกิล (Bound to Google Apps) และทำงานผ่านเว็บได้ (Shakhovska, Nataliya, Basystiuk, Oleh, Shakhovska, Khrystyna, 2019)

จากทฤษฎีการวิจัย รวมถึงเครื่องมือ และโปรแกรมที่ใช้ในการวิจัย สำหรับงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาระบบโต้ตอบอัตโนมัติ ประกอบด้วย การสร้างฐานข้อมูลคำถาม-คำตอบผ่านโปรแกรมกูเกิลชีทที่สามารถออกแบบเส้นทางการสื่อสารหรือตอบโต้ผ่านโปรแกรมไดอะล็อกโฟร์ (Dialog Flow) ซึ่งภายในโปรแกรมไลน์จะสามารถเรียกใช้เครื่องมือช่วยในการออกแบบการโต้ตอบผ่านโปรแกรมไลน์ดีไซน์เนอร์ (Line Designer) ผ่านแอปพลิเคชันการรับส่งข้อความเอพีไอ (Messaging API) ของฟังก์ชันผู้วิจัยของโปรแกรมไลน์ (Line Developer)

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dahiya, Menal (2017) แชทบอทหรือการโต้ตอบอัตโนมัติ (Auto-reply) เป็นระบบตอบแชทข้อความตอบคอมเมนต์ให้อัตโนมัติในแอปพลิเคชันซึ่งมีวิธีการพัฒนาที่มีการประยุกต์ใช้แพลตฟอร์มของโซเชียลมีเดียที่กำลังได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบันเช่น Facebook, LINE OA และ Instagram ทำหน้าที่ตอบแชทตอบคำถามให้ลูกค้าอัตโนมัติ ด้วยการเก็บข้อมูลคำถามบ่อยๆ ไว้ในโปรแกรมกูเกิลชีท และเขียนภาษาสคริปต์สำหรับการเชื่อมต่อคำถามและคำตอบผ่านโซเชียลมีเดียต่างๆ ที่กำหนดไว้ ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถช่วยลดการตอบคำถามซ้ำๆ ลดปัญหาการตอบลูกค้าไม่ทัน ในส่วนของลูกค้าเองสามารถสนทนาโต้ตอบกับร้านค้าได้แบบเรียลไทม์ (Real Time) ได้อีกช่องทางเช่นกัน

Ahmad, Nahdatul AkmaChe, et al., (2018). การพัฒนาระบบการสารสนเทศเพื่อสนทนาระหว่างมนุษย์กับระบบคอมพิวเตอร์ผ่านแชทบอทด้วยเทคนิคการประมวลผลทางคอมพิวเตอร์ให้สามารถเข้าใจภาษาธรรมชาติหรือภาษามนุษย์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบขั้นตอนการพัฒนาแชทบอทให้สามารถโต้ตอบกับมนุษย์ไว้ 5 ส่วน ได้แก่ ส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI) ส่วนของกลุ่มประโยคข้อความโต้ตอบ (Chunking Text in Phrases) ส่วนของคีย์เวิร์ค (Keywords) ส่วนของรูปแบบการเรียนรู้ของเครื่อง (Match the Keywords with Pattern) และส่วนของการตอบสนอง (Making a Reponses) ผลงานวิจัยนี้มีการพัฒนาระบบแชทบอทผ่าน ระบบ Cleverbot Interface โดยระบบนี้สามารถรองรับการโต้ตอบข้อมูลคำถามที่ถูกจัดเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล และมีการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลด้วยคีย์เวิร์คผ่านคำสั่ง SQL ที่มีการนำมาเข้ารูปแบบการเรียนรู้ของเครื่องภาษาทางธรรมชาติ (NLP) ทำให้ระบบนี้สามารถรองรับการการโต้ตอบและเรียนรู้ภาษาธรรมชาติหรือภาษามนุษย์ได้

Levas, Eric de Leon, Dionisio Li, Yanyan (2021) ผลงานวิจัยนี้มีการพัฒนาระบบสมาร์ทแชทบอทเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนักศึกษา ด้วยการออกแบบระบบสมาร์ทแชทบอทมีส่วนประกอบ 3 ส่วน 1) ส่วนของติดต่อผู้ใช้ (Slack Application UI) 2) ส่วนของติดต่อข้อมูลคำถามคำตอบ (Slack API) และ 3) ส่วนของคลังข้อมูลคำถามคำตอบ (Q/A Spreadsheet) จากนั้นจะมีการออกแบบเส้นทางการโต้ตอบผ่านโปรแกรมไดอะล็อกโฟลว์ที่

สามารถรองรับการการรับส่งข้อมูลคำถามคำตอบผ่านส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ผลการทดลองใช้พบว่าระบบสามารถตอบคำถามการเรียนรู้ของนักศึกษาที่ถามเกี่ยวกับเนื้อการเรียนการสอนในวิชาได้ทำให้ผลการเรียนของนักศึกษามีเกรดเฉลี่ยที่ดีขึ้น

ศุภวิชญ์ เขียวงาม และคณะ (2564) การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อให้ข้อมูลและตอบคำถามเกี่ยวกับโรคออฟฟิศซินโดรมจากกลุ่มตัวอย่างจากบุคคลทั่วไป ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาฟลัทเทอะ (Flutter) ใช้ในการพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรมแอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) เพื่อจำลองการทำงานของโมบายแอปพลิเคชันที่ใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ด้วยการประยุกต์ไดอะล็อกโฟลว์ (Dialog flow) ใช้สำหรับสร้างแชทบอทตอบคำถามตามความต้องการของผู้ใช้งาน

จีระศักดิ์ หมูตัน และคณะ (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทให้ข้อมูลและตอบคำถามเกี่ยวกับกองทุนกู้ยืม เพื่อการศึกษา กรณีศึกษา มหาวิทยาลัย ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการพัฒนาได้แก่ฟลัทเทอะ (Flutter) ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับแอนดรอยด์ แอนดรอยด์สตูดิโอซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันที่รันบนแอนดรอยด์ และภาษาที่ใช้ในการพัฒนาจะเป็นภาษา Dart ที่เป็นภาษาที่ถูกออกแบบมา เพื่อใช้พัฒนาการแอปพลิเคชันโดยตรง และ ใช้ไดอะล็อกโฟล สำหรับสร้างแชทบอทของกูเกิลด้วยการกำหนดให้มีการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) มาช่วยในทำความเข้าใจถึงความต้องการ (intent) และสิ่งที่ต้องการ (Entity) ในประโยคสนทนาตามความต้องการของผู้ใช้งาน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1) ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรของผู้ใช้งานที่ลงทะเบียนเรียนภายในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน และกลุ่มนักศึกษา ที่เป็นสมาชิกไลน์แอคเคาน์ของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยเก็บคำถามจากศูนย์ให้คำปรึกษาทางการเรียน ตลอดในช่วงการระบาดของไวรัสโคโรน่า ที่ผ่านมา 2 ปี ได้คำถามทั้งหมดจำนวน 5,000 คำถาม โดยจัดกลุ่มคำถาม-คำตอบที่มีความประสงค์ในเรื่องเดียวกัน คัดเลือกข้อความที่ไม่เกี่ยวกับการถาม-ตอบ และจัดกลุ่มข้อมูลของคำถาม-คำตอบตามกลุ่มงานให้บริการ สรุปได้ข้อมูลประชากรในการทดสอบระบบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรจำแนกตามกลุ่มงานให้บริการ

กลุ่มงานให้บริการ	จำนวนคำถาม-คำตอบ
การลงทะเบียน	500
การเงิน	500
วิชาการ	500
กิจการนักศึกษา	500

ผู้ใช้ระบบที่เป็นกลุ่มตัวอย่างในการทดสอบระบบ จำแนกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) เจ้าหน้าที่/อาจารย์ เป็นผู้ตอบคำถามหรือให้คำปรึกษาแก่นักศึกษา จำนวน 10 คน (2) นักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 190 คน แยกเป็นสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารจำนวน 100 คน นักศึกษาสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จำนวน 90 คน

4.2) เครื่องมือวิจัย

1) เครื่องมือสำหรับพัฒนาเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียน ได้แก่ Line Message API ใช้สำหรับการสร้างส่วนติดตามผู้ใช้งานผ่านโปรแกรมไลน์ โปรแกรมกูเกิลชีทใช้สำหรับการเก็บข้อมูลคำถามของผู้ที่ผ่านมา เพื่อใช้เป็นคลังข้อมูลคำตอบของผู้ใช้งาน ภาษา App Script ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดให้แชทบอท สามารถรับข้อมูลคำถามจากข้อความไลน์และนำไปค้นหาคำตอบในฐานข้อมูลกูเกิลชีทเพื่อนำคำตอบมาตอบคำถามอัตโนมัติ

2) แบบทดสอบการใช้งานระบบ เพื่อใช้ทดสอบระบบ 4 รายการได้แก่ ความสามารถของระบบในการตอบคำถาม ความสามารถของระบบในการวิเคราะห์ข้อมูลคำถาม/คำตอบ ความสามารถของระบบในการนำเสนอข้อมูล และความเร็วในการแสดงผลข้อมูล

4.3) การวางแผน (Planning)

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและทำความเข้าใจปัญหาของการวิจัย รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในด้านต่างๆ การกำหนดปัญหา (Define the problem) จากการได้ศึกษาระบบงานเดิมและขั้นตอนต่างๆ ให้การให้คำปรึกษาแก่นักศึกษามีขั้นตอนอย่างไร และมีปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้ ประเด็นปัญหาด้านการตอบคำถาม เนื่องจากมีผู้เข้าไปถามคำถามเข้ามาในหน่วยงาน หรือผ่านสื่อต่างๆ ของทางคณะจำนวนมาก และด้วยสถานการณ์โควิดที่ผ่านมา มีปัญหาเรื่องการเดินทางมาติดต่อกับหน่วยงานในคณะโดยตรง จึงมีการตอบคำถามที่ค่อนข้างล่าช้า

4.4) การวิเคราะห์ และออกแบบระบบ (Analysis and Design)

ขั้นตอนการวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์ระบบการทำงานของแชทบอทเพื่อตอบคำถามอัตโนมัติเพื่อออกแบบกระบวนการทำงานการโต้ตอบคำถาม-คำตอบ จากนั้นจึงมีการออกแบบระบบการทำงานของแอปพลิเคชันไลน์เพื่อใช้โต้ตอบอัตโนมัติกับผู้ใช้ผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์

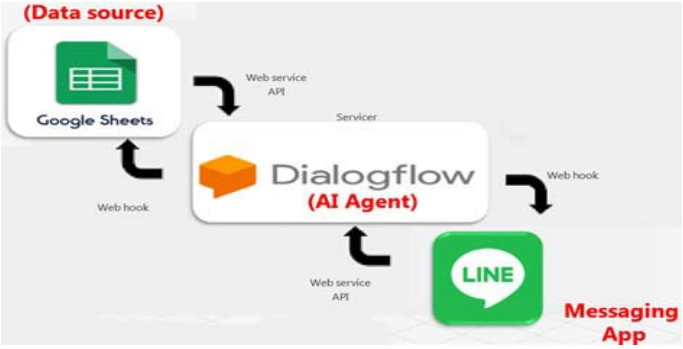
การออกแบบระบบ จะมีองค์ประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนในการเก็บข้อมูลคำถาม-คำตอบ จะเก็บข้อมูลโดยจำแนกตามกลุ่มงานให้บริการโดยเก็บในกูเกิลชีท

2. ส่วนให้บริการวิเคราะห์ความต้องการของคำถามของผู้ใช้ระบบ เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมให้บริการแก่ผู้ใช้ระบบ โดยใช้ไดอะล็อกโฟลว์เป็นส่วนดำเนินการ

3. ส่วนเชื่อมต่อประสานกับผู้ใช้ระบบจะใช้ Social Platform ที่ได้รับความนิยมในการใช้งานมากในกลุ่มผู้ใช้งานระบบคือแอปพลิเคชันไลน์

การทำงานทั้ง 3 ส่วน มีการเชื่อมต่อเพื่อส่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้การทำงานของระบบสมบูรณ์มีขั้นตอนการทำงาน แสดงดังรูปที่ 2 โดยมีรายละเอียด ดังนี้ การเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมไลน์ (Line) กับไดอะล็อกโฟลว์ ผ่านตัวบริหารจัดการอินเทนท์ (Intent) ในการสร้างอินเทนท์จะมีการกำหนดข้อความสำหรับการเรียนรู้ของแชทบอท (Training Phrases) ที่เป็นเนื้อหาของการคำถามและคำตอบที่เป็นต้นแบบไว้ จากนั้นจึงมีการเชื่อมโยงข้อมูลในส่วนนี้เข้าโปรแกรมแกรมไลน์เพื่อรับส่งข้อมูลคำถามและคำตอบผ่านช่องทางการสนทนา (Integrations)



รูปที่ 2 องค์ประกอบการพัฒนาระบบโต้ตอบอัตโนมัติ

4.5) การพัฒนาระบบ (Construction)

ขั้นตอนการพัฒนาระบบแชทบอทตามสถาปัตยกรรมระบบในรูปที่ 2 ที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้สามารถนำมาออกแบบขั้นตอนการพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติสำหรับให้การคำปรึกษาทางการเรียน ของนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม โดยมีการนำข้อมูลประชากรที่ใช้ในระบบ นำเข้าจัดเก็บไว้ในโปรแกรมกูเกิลชีท และทำการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Google App Script เพื่อเขียนโปรแกรมเชื่อมต่อกับกูเกิลชีทและให้แสดงผลข้อมูลผ่านทางไลน์แอปพลิเคชันซึ่งโครงสร้างภาษาแอปพลิเคชันสคริปต์ ขั้นตอนการพัฒนาระบบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติมีการออกแบบส่วนประกอบ 3 องค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ การสร้างฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมกูเกิลชีท การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานผ่านโปรแกรม Line Platform Manager และการเขียนสคริปต์เพื่อติดต่อระหว่างไลน์แอปพลิเคชันกับโปรแกมกูลเกิลชีท และใช้ไดอะล็อกโฟลว์ที่มีคุณสมบัติสำหรับสร้างแชทบอทของ Google ที่ใช้ machine learning ด้าน Natural Language Processing (NLP) มาช่วยในการทำความเข้าใจถึงความต้องการ (intent) และสิ่งที่ต้องการ (entity) ในประโยคสนทนาของผู้ใช้งานและตอบคำถามตามความต้องการของผู้ใช้งาน ตามกฎ หรือ flow ที่ผู้พัฒนาวางเอาไว้ ซึ่งไดอะล็อกโฟลว์จะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของประโยคที่แชทบอทรับมา ว่าไม่จำเป็นต้องตรงตามเงื่อนไขแบบ rule based ก็สามารถเข้าใจถึงความต้องการของผู้ใช้งาน ในปัจจุบันช่องทางที่นักศึกษาใช้ติดต่อสื่อสารกันมาก คือแชทผ่านไลน์แอปพลิเคชันเนื่องจากเข้าถึงได้ง่ายสามารถโต้ตอบได้รวดเร็ว ลักษณะการคุยจะเหมือนบทสนทนาจริง เพื่อให้ติดต่อได้ง่ายนั้น จะต้องเตรียมข้อมูลสำหรับการแชทไว้ให้ดี โดยหลัก ๆ คือ ความรวดเร็วในการตอบ และความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล เพื่อให้ผู้ใช้รู้สึกดี ซึ่งหากมีช่องแชทแต่ตอบช้า หรือตอบเร็วแต่ตอบไม่ตรงประเด็น ก็จะทำให้ผู้ใช้รู้สึกเสียเวลาและรู้สึกที่ไม่ดี ตัวช่วยหนึ่งที่จะทำให้โต้ตอบทางแชทได้รวดเร็ว นอกจากการใช้คน คือการใช้แชทบอท เนื่องจากแชทบอทสามารถตอบสนองได้ตลอดเวลาและตอบในทันที ทั้งในและนอกเวลาทำการ แต่แชทบอทนั้นควรจะฉลาด และสามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับผู้ใช้งานได้อย่างแม่นยำ การที่แชทบอทสามารถทำความเข้าใจความหมายของประโยคที่ผู้ใช้พิมพ์ส่งเข้ามาได้อย่างถูกต้อง ทำให้แชทบอทสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งานได้แม่นยำและตรงประเด็น ชุดข้อมูลเรียนรู้ที่นำไปทำการสอนให้กับตัวโปรแกรม Machine Learning ทำให้ตัวโปรแกรมเกิดการเรียนรู้

5. ผลลัพธ์การวิจัย

ผลการพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียน กรณีศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม มีผลดังนี้

1) ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการตอบคำถามอัตโนมัติผ่านโปรแกรมไลน์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนรองรับการเรียกใช้งาน ซึ่งมีการนำข้อมูลคำถามที่ถูกสกัดมาจัดหมวดหมู่ได้ 4 หมวดหมู่ แต่ละหมวดหมู่มีจำนวน 500 คำถาม ของคำถามด้วยการสร้างริชเมนู ได้ 4 เมนู ได้แก่ การลงทะเบียน การเงิน วิชาการ และกิจกรรม แสดงดังรูปที่ 3 (ก) และส่วนรองรับการตอบคำถาม แสดงดังรูปที่ 3 (ข)

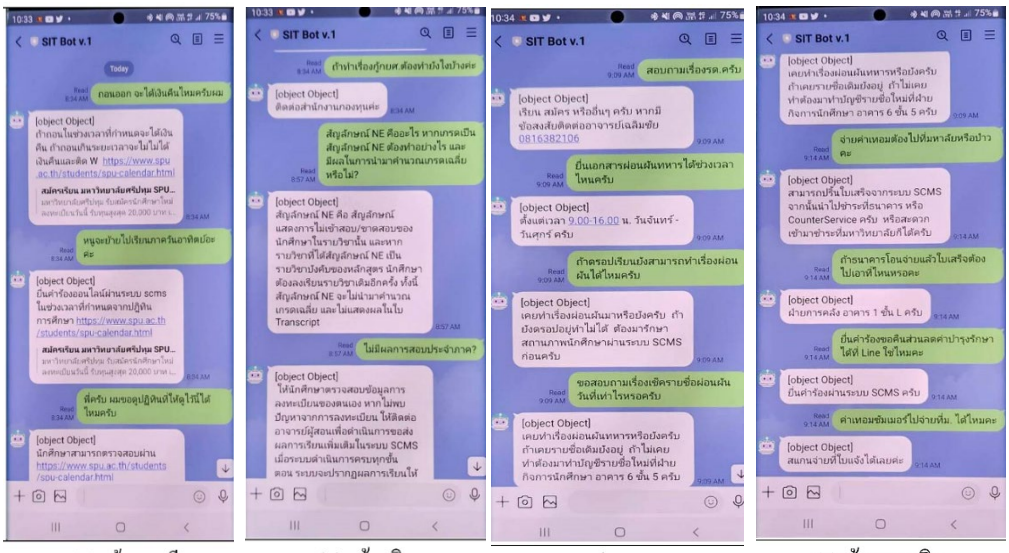
(ก)

(ข)

รูปที่ 3 แชทบอทสำหรับการตอบคำถามอัตโนมัติ

จากผลการสร้างริชเมนูเมื่อผู้ใช้งานคลิกเข้าไปถามแต่ละริชเมนูเพื่อถามคำถามแต่ละรายการก็จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4

2) ผลการทดลองใช้งานแอปพลิเคชันแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียน กรณีศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม และประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างด้วยแบบประเมินผลความพึงพอใจในระดับคะแนน 5 ระดับ โดยใช้ผลการประเมินเทียบระดับคะแนน 0.00–1.50 ระดับน้อยมาก 1.51–2.50 ระดับน้อย 2.51–3.50 ระดับปานกลาง 3.51–4.50 ระดับดี 4.51–5.00 ดีมาก โดยมีผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 2



(ก) ด้านทะเบียน (ข) ด้านวิชาการ (ค) ด้านกิจการ (ง) ด้านการเงิน

รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างผลการทดสอบระบบ

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจของผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน

ข้อคำถาม	$\bar{X}$	SD.	แปลผล
ด้านตรงตามความต้องการ			
ความสามารถของระบบในการตอบคำถาม	4.00	0.90	มาก
ความสามารถของระบบในการนำเสนอข้อมูล	4.06	0.80	มาก
ความสามารถของระบบในการตอบคำถามถูกต้อง	4.01	0.92	มาก
รวมด้านตรงตามความต้องการ	4.02	0.87	มาก
ด้านการรับรู้ความง่าย			
ความเหมาะสมในการออกแบบหน้าจอ	4.02	0.85	มาก
ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ	4.04	0.82	มาก
ความง่ายในการเรียกใช้งานระบบ	4.12	0.81	มาก
รวมด้านการรับรู้ความง่าย	4.06	0.82	มาก
ด้านการประยุกต์ใช้			
ความสะดวกในการเรียกใช้งานระบบ	4.20	0.83	มาก
ความเร็วในการตอบคำถาม	4.17	0.80	มาก
ความเร็วในการตอบแสดงผลหน้าจอ	4.17	0.86	มาก
รวมด้านการประยุกต์ใช้	4.18	0.83	มาก
รวมทุกด้าน	4.09	0.84	มาก

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแอปพลิเคชันแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียน กรณีศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.09, SD. = 0.84) พบว่า ในส่วนที่ 1 ตรงตามความต้องการ (Function Requirement) ด้านการรับรู้ความง่าย อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.02, SD. = 0.87) ด้านการรับรู้ความง่าย อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.06, SD. = 0.82) และด้านการประยุกต์ใช้อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.09, SD. = 0.84)

6. อภิปรายผล

ผลการพัฒนาระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติเพื่อการให้คำปรึกษาทางการเรียนกรณีศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุมที่ได้จากงานวิจัยนี้ มีการเขียนโปรแกรมภาษาแอปพลิเคชันสคริปต์เพื่อเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมไลน์ กับ ฐานข้อมูลบนโปรแกรมกูเกิลชีท ที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลคำถามของนักศึกษาที่พบบ่อย และคำตอบจากหน่วยงานที่ได้ตอบนักศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ ทำให้ระบบแชทบอทนี้สามารถตอบคำถามได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับเทคนิคการออกแบบระบบแชทบอท (Ahmad, Nahdatul AkmaChe, et al., 2018) และการศึกษาใช้งานแชทบอทเพื่อเพิ่มกิจกรรมทางกาย (Larbi, Dillys Gabarron, Elia and Denecke, Kerstin.2021) จากผลการประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานพบว่ามีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งผู้วิจัยจะได้นำผลการประเมินไปปรับปรุงและพัฒนาให้ระบบสามารถทำงานได้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้อยู่ในระดับมากที่สุดต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การนำระบบโต้ตอบอัตโนมัติที่ได้จากการพัฒนาในงานวิจัยไปใช้งาน สามารถทำได้ 2 ส่วนที่เป็นผู้ดูแลระบบ ต้องติดตั้งกูเกิลชีทเพื่อคอยดูแลในส่วนของการเก็บข้อมูลคำถามที่เกิดขึ้นมาใหม่ และคอยตอบคำถามกรณีนักศึกษาตั้งคำถามที่ไม่เคยถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ด้วยระบบแชทบอทโต้ตอบอัตโนมัติสามารถตอบคำถามของนักศึกษาได้อย่างอัตโนมัติก็จริง แต่จะสามารถตอบได้ตรงเฉพาะคำถามที่เคยถามหรือถูกเก็บไว้ในกูลเกิลชีทเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถโต้ตอบได้มีประสิทธิภาพควรหาอัลกอริทึมที่สามารถสอนให้เครื่องจักรเรียนรู้ และตอบสนองผู้ใช้งานได้อย่างรวดเร็วเพื่อลดการที่ระบบโต้ตอบคำถามว่าไม่เข้าใจคำถาม

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณทางมหาวิทยาลัยศรีปทุมเป็นอย่างสูงที่ให้ทุนสนับสนุนการดำเนินการวิจัย และผู้พัฒนาขอขอบพระคุณ คณบดี อาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์ และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่มีส่วนผลักดันและส่งเสริมการดำเนินงานวิจัยนี้จนแล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างสูง

9. เอกสารอ้างอิง

จีระศักดิ์ หมูตัน และคณะ (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทให้ข้อมูลและตอบคำถามเกี่ยวกับกองทุนกู้ยืมเพื่อการศึกษา กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยพะเยา. *การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ออนไลน์ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2564* วันที่ 28 ตุลาคม 2564.

ฉัตรมุก ชมสาร และคณะ (2564). ระบบตอบคำถามและส่งข่าวสารประชาสัมพันธ์ด้วยโปรแกรมสนทนาอัตโนมัติ:กรณีศึกษาบริษัทรมิตา เฮลธ์แอนด์บิวตี้จำกัด. *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 9 ประจำปี 2564* วันที่ 29 พฤศจิกายน 2564.

ธัญญกร ดีพร้อม และคณะ (2563). การพัฒนาระบบตอบคำถามอัตโนมัติ: กรณีศึกษา บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน). *วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2563* วันที่ 20 พฤศจิกายน 2563.

วสุ บัวแก้ว และคณะ (2563). การพัฒนาระบบ LINE BOT สำหรับบัณฑิตวิทยาลัย. *การประชุมนำเสนอผลงานวิจัย ระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15.* วันพฤหัสที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2563 มหาวิทยาลัยรังสิต

ศุภวิชญ์ เขียวงาม และคณะ (2564). การพัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อให้ข้อมูลและตอบคำถามเกี่ยวกับโรคออฟฟิศซินโดรม. *การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ออนไลน์ ครั้งที่ 16 ประจำปี 2564* วันที่ 28 ตุลาคม 2564.

สุมนา บุษบก และคณะ (2563). การพัฒนาแอปพลิเคชัน Chabot สำหรับงานบริการนักศึกษา กรณีศึกษา กอง พัฒนานักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. *วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 19*(2), หน้า 85 – 94.

Ahmad, Nahdatul AkmaChe, et al., (2018). Review of Chatbot s design techniques. *International Journal of Computer Applications, 181*(8), 7-10.

Bhavika R. Ranoliya; Nidhi Raghuwanshi; Sanjay Singh (2017). *Chatbot for university related FAQs.* International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)

Dahiya, Menal. (2017). A tool of conversation: Chatbot . *International Journal of Computer Sciences and Engineering, 5*(5), 158-161.

Larbi, Dillys Gabarron, Elia and Denecke, Kerstin. (2021). Social Media Chatbot for Increasing Physical Activity: Usability Study. pHealth 2021, 227-232.

Levas, Eric de Leon, Dionisio Li, Yanyan (2021). A Smart Class Chatbot for Improving Student Learning and Engagement, 1 st Computer Science Conference for CSU Undergraduates (CSCSU21).

Shakhovska, Nataliya, Basystiuk, Oleh, Shakhovska, Khrystyna (2019). Development of the Speech-to-Text Chatbot Interface Based on Google API. *MoMLeT, 23*(86), 16-26.

การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ

DEVELOPMENT OF 2D ANIMATION CARTOON TITLED DISASTER PREPAREDNESS

พิรุฬห์ แก้วฟุ้งรังษี

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: piroon@g.cmru.ac.th

ภัทราพร พรหมคำตัน

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: pataraporn_pro@g.cmru.ac.th

อรรัมภา ปันอิ่น

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: 62141039@g.cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ และเพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่รับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติจากสคะแนนการทำแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ในการจัดทำการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติได้ทำการออกแบบตัวละครและฉากพื้นหลังด้วยโปรแกรมอะโดบี โฟโตชอป 2021 (Adobe Photoshop 2021) และสร้างภาพเคลื่อนไหว ด้วยโปรแกรมอะโดบี แอนิเมท 2020 (Adobe Animate 2020) การบันทึกเสียง ตัดต่อเสียงด้วยโปรแกรมอะโดบี ออดิชัน (Adobe Audition) และแก้ไขเรียบเรียงตัดต่อให้สมบูรณ์ด้วยโปรแกรมอะโดบี พรีเมียร์ โปร 2020 (Adobe Premiere Pro 2020) สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในทดลอง คือ นักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ศึกษา ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 20 คน ผลจากงานวิจัย พบว่า มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียนและหลังเรียนนั้น มีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนมีค่าเท่ากับ 7.75 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 13 ตามลำดับ และเมื่อนำคะแนนไปทดสอบความแตกต่างโดยใช้สถิติ t – test พบว่า คะแนนแบบทดสอบหลังเรียนของนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

คำสำคัญ: การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ, ภัยพิบัติ, ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ABSTRACT

This research aims to develop a 2D animated cartoon titled Disaster Preparedness and to determine the learning achievement of the samples who watched 2D animated cartoon on disaster preparedness from the pre-test and post-test scores. To produce the 2D animation, characters and backgrounds were designed using Adobe

Photoshop 2021, animated with Adobe Animate 2020, audio recorded and edited by Adobe Audition and rearranged and edited video via Adobe Premiere Pro 2020. The samples used in the experiment were 20 students in the field of Computer Education studies in the Department of Computer Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University. The results showed that the average learning achievement in pre-test score was 7.75 while the average learning achievement in post-test score was 13. The experimental group was significantly higher in posttest than pretest scores at .05 level.

Keywords: 2D Animated Cartoon, Disaster, Learning Achievement

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การเปลี่ยนแปลงทางสภาวะแวดล้อมของโลก อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยธรรมชาติหรือจากการกระทำของมนุษย์ ได้ส่งผลให้เกิดภัยพิบัติต่างๆ ทั้งในประเทศไทยและภูมิภาคต่างๆของโลก เช่น แผ่นดินไหว สึนามิ อุทกภัย ไฟไหม้ ฯลฯ ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบทั้งโดยตรงและโดยอ้อมต่อมวลมนุษย์ โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมของโลกมีตั้งแต่การเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ไปจนถึงการเกิดอย่างฉับพลันและรุนแรง ซึ่งเป็นอันตรายต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของสิ่งมีชีวิต เมื่อเกิดภัยพิบัติขึ้นแล้วจะส่งผลให้เกิดอันตรายและเกิดความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินต่างๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับภัยพิบัติทาง ธรรมชาติและการเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติในโลกต่างๆ เพื่อจะได้ปรับวิถีชีวิตให้สอดคล้องกับสภาวะในขณะนี้ (เทศบาลตำบลหารแก้ว, 2565) ซึ่งภัยธรรมชาติไม่ใช่เรื่องไกลตัวเราแต่อย่างใด และพบว่าภัยต่างๆ เกิดขึ้นบ่อยครั้งและมีความรุนแรงมากขึ้น ในปัจจุบันสื่อที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับภัยพิบัติ ยังขาดความน่าสนใจเพราะมีแต่สื่อที่มีแต่ตัวหนังสือและรูปภาพเท่านั้น ทำให้ความสนใจในการเรียนรู้ลดลง และในขณะเดียวกันมีประชาชนจำนวนมากที่ไม่มีข้อมูลสำหรับการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติที่เกิดขึ้น จึงไม่สามารถหาทางป้องกันและปฏิบัติตนได้อย่างถูกต้องเมื่อเกิดภัย จึงต้องให้ความรู้ที่ถูกต้องว่าแท้จริงแล้ว ภัยธรรมชาติคืออะไร มีลักษณะใดบ้าง แต่ละลักษณะเกิดขึ้นได้อย่างไร อันตรายและผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นได้กับครอบครัวและชุมชนจากภัยพิบัตินั้น รวมถึงวิธีการเตรียมความพร้อมเพื่อรับมือกับเหตุการณ์ (อาคม พรรณิกร, 2561)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในสร้างการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ เพื่อเป็นเครื่องมือในการถ่ายทอดเรื่องราวเพื่อสร้างแรงจูงในการรับชมให้เนื้อหาเกิดความน่าสนใจและเข้าใจได้ง่าย เกี่ยวกับข้อควรปฏิบัติและวิธีการรับมือกับภัยพิบัติที่จะเกิดขึ้น ดึงดูดความน่าสนใจและช่วยในการจดจำให้เกิดความเพลิดเพลิน ความสนุกสนาน และมีเนื้อหาที่สามารถไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ

(2) เพื่อหาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่รับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ โดยแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ขั้นตอนการสร้างการ์ตูนแอนิเมชัน

สุทัศศา นารอด (2552) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการสร้างการ์ตูนแอนิเมชันสามารถแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนก่อนการผลิต (Pre-Production) เป็นขั้นตอนการเตรียมงาน เป็นขั้นตอนสำหรับการเตรียมสร้างงานแอนิเมชัน เริ่มตั้งแต่การเตรียมเนื้อเรื่องให้เป็นภาพคร่าวๆ การวางแผนกลยุทธ์ การเตรียมงบประมาณและทรัพยากรต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในการทำงาน การวางคอนเซ็ปต์ (Concept) และการพัฒนาแนวคิด (Idea) การวางหัวข้อเรื่อง (Outline a Topic) การกำหนดเรื่องราว (Storyline) การเขียนสคริปต์ การออกแบบลักษณะของตัวละคร (Character Design) การวาดการ์ตูน (Drawing) การกำหนดทิศทางของศิลปะ (Art Direction) การสร้างสตอรี่บอร์ด (Storyboard) ที่เรียกได้ว่าเป็นขั้นตอนการเตรียมทุกสิ่งสำหรับนำมาใช้ในการสร้างงานแอนิเมชันจริงๆ ซึ่งขั้นตอนการเตรียมงานนี้จะได้ภาพของเรื่องที่จะทำออกมาชัดเจนในระดับหนึ่ง โดยชิ้นงานสุดท้ายที่ได้ออกมามักจะเป็นสตอรี่บอร์ดสำหรับนำไปใช้ทำงานในขั้นตอนต่อไป

2. ขั้นตอนการผลิต (Production) เป็นขั้นตอนการเริ่มลงมือทำงานแอนิเมชัน จากสตอรี่บอร์ด (Storyboard) ที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้ จากขั้นตอนการเตรียมงาน เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตซึ่งจะ เริ่มจากการจัดวางเค้าโครง (Layout) โดยการทำแอนิเมติก (Create an Animatic) การเตรียมและทดสอบเสียง (Sound & Testing) การกำหนดหลักการเคลื่อนไหวของตัวละครและภาพ ไปจนถึงการทำแอนิเมชัน ส่วนต่างๆ จนครบหมดทั้งเรื่อง หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้ เราก็จะได้การ์ตูนแอนิเมชันเต็มๆ หนึ่งเรื่อง ที่พร้อมจะนำไปตัดต่อ ตกแต่ง แก้ไขเสียง และนำไปเผยแพร่ต่อไป การทำแอนิเมติก คือ การนำภาพวาด ตามแนวความคิดสร้างสรรค์มาประกอบกันเข้าเป็นเรื่องราว สามารถสื่อแนวความคิดหลักใหญ่ๆ ในเรื่องได้ การทำแอนิเมติกจะทำให้นักสร้างสรรค์สามารถทบทวนแนวความคิก กรอบเวลาและการ ดำเนินเรื่องราวอย่างมีเหตุผลและต่อเนื่องได้

3. ขั้นตอนหลังการผลิต (Post-Production) ขั้นตอนหลังการผลิต จะเป็นขั้นตอนของการปรับแต่งเสียง การใส่ชื่อเรื่อง (Titles) และเครดิต (Credit) ใส่ปุ่มหยุดหรือการเล่นซ้ำ การนำเสนอชิ้นงานในรูปแบบอินเทอร์เน็ต หรือการนำออกในรูปแบบไฟล์วิดิโอ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ ซึ่งเรียกได้ว่าพอจบขั้นตอนนี้ เราก็จะได้การ์ตูนแอนิเมชันที่เสร็จสมบูรณ์ทั้งภาพและเสียงพร้อมจะนำไปใช้งาน

3.2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทวีศักดิ์ กาญจนสุวรรณ (2552) ได้กล่าวว่า แอนิเมชัน (Animation) หมายถึง “การสร้างการเคลื่อนไหว” ด้วยการนำภาพนิ่งมาเรียงลำดับกันและการแสดงผลอย่างต่อเนื่อง ทำให้ดวงตาเห็นเป็นภาพที่มีการเคลื่อนไหว ในลักษณะภาพติดตา (Persistence of Vision) เมื่อตามมนุษย์มองเห็นภาพถ่ายอย่างต่อเนื่อง เรดินาจะรักษาภาพนี้ไว้ในระยะเวลาสั้นๆ ประมาณ 1/3 วินาที หากมีภาพอื่นแทรกเข้ามาในระยะเวลาดังกล่าว สมองมนุษย์จะเชื่อมโขงภาพทั้งสองเข้าด้วยกันทำให้เห็นเป็นภาพเคลื่อนไหว ที่มีความต่อเนื่องกันแม้ว่าแอนิเมชันจะ ใช้หลักการเดียวกับวิดีโอ แต่แอนิเมชันจะเป็นการนำภาพวาดหรือภาพกราฟิกต่างๆ มาใช้ในการสร้างภาพเคลื่อนไหว แอนิเมชันสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้มากมาย เช่น งานภาพยนตร์ งานโทรทัศน์ งานพัฒนาเกม งานสถาปัตยกรรม งานก่อสร้าง งานด้านวิทยาศาสตร์ หรือ งานพัฒนาเว็บไซต์ เป็นต้น

ณัฐพล วรรณาภรณ์ (2560) สร้างภาพยนตร์แอนิเมชันให้เยาวชนมีความตระหนักในผลกระทบที่เกิดจากขยะ วิธีการศึกษาได้ศึกษาองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องกับขยะและผลกระทบจากขยะในจังหวัด เชียงใหม่จากรายงานวิจัย เพื่อนำมาเป็นเนื้อหาและบทภาพยนตร์ ในวิธีการสร้างภาพยนตร์นำสื่อมาทำการประเมินผลโดย กลุ่มตัวอย่างนักเรียนชั้นประถมศึกษาจากสถานสงเคราะห์เด็กชายบ้าน เชียงใหม่จำนวน 15 คน และผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน

ด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพของสื่อภาพยนตร์แอนิเมชัน ผลการประเมินประสิทธิภาพของสื่อภาพยนตร์แอนิเมชันในภาพรวมของการศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าสื่อภาพยนตร์แอนิเมชันในครั้งนี้มีความเหมาะสมอยู่ในเกณฑ์ดีเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้และยังทำให้ทราบแนวทางการพัฒนาสื่อแอนิเมชันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป

เกศสิณีกร กาวี (2561) ได้พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง “ระบบสุริยะ” มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อจัดทำสื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ ส่งเสริมความรู้ทางวิทยาศาสตร์ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง “ระบบสุริยะ” 2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เรียนที่มีต่อสื่อ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง“ระบบสุริยะ” กลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนสามัคคีวิทยาทาน จำนวน 30 คนเครื่องมือที่ใช้ คือการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง “ระบบสุริยะ แบบประเมินคุณภาพและแบบสอบถามความพึงพอใจสถิติที่ใช้ คือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการประเมินการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติสามารถสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจสูงที่สุด คือความสามารถในการสร้างความรู้ ความเข้าใจ เรื่อง “ระบบสุริยะ”อยู่ที่ 4.67 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.68 แปลผลตามเกณฑ์อยู่ในระดับดีมาก เนื่องจากผู้จัดทำได้มีการกำหนดขอบเขตของเนื้อหาใช้คำที่สั้นกระชับและเข้าใจง่าย เพื่อง่ายต่อความเข้าใจของเด็กในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ส่วนค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด คือความน่าสนใจของฉาก อยู่ที่4.23 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.63 แปลผลตามเกณฑ์อยู่ในระดับดี ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจทั้งหมดอยู่ที่ 4.42 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.69 แปลผลตามเกณฑ์อยู่ในระดับ ดี

ชุมพล จันทร์ฉลอง (2561) ได้พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง รักษ์ผืนป่าผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ การวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติเรื่อง รักษ์ผืนป่า ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อหาคุณภาพและประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมายที่มีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง รักษ์ผืนป่าผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายโดยใช้วิธีจับสลากซึ่งจับสลากได้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาภาคปกติ หลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยราชภัฏไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 1) การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติเรื่อง รักษ์ผืนป่า ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น 2) แบบประเมินคุณภาพของการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง รักษ์ผืนป่า ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์โดยผู้เชี่ยวชาญ3)แบบประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างมีต่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง รักษ์ผืนป่าผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

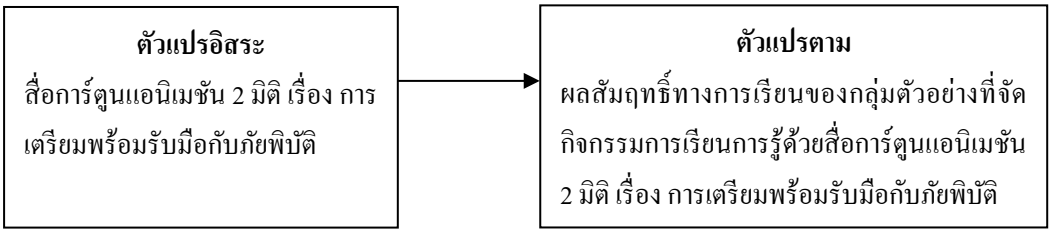
ฉัตรชัย สุดใจ (2562) ได้พัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง ปัญหาโรคไข้เลือดออก การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสื่อแอนิเมชัน 2 มิติเรื่องปัญหาโรคไข้เลือดออก และนำไปเผยแพร่ เพื่อศึกษาและประเมินความพึงพอใจสื่อแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง ปัญหาโรคไข้เลือดออก ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจครั้งนี้เป็นกลุ่มนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนวัดช่างเคี่ยน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 30 คน ที่ได้รับชมการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่องปัญหาโรคไข้เลือดออก จากผลสรุปการประเมินแบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียน ทั้งหมดนั้นมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก นอกจากนี้ยังสามารถให้นักเรียนนำไปเผยแพร่แก่บุคคลทั่วไป ได้ทุกเพศทุกวัยที่มีความสนใจได้รับชมอีก ทั้งผู้วิจัยได้เรียนรู้เทคนิคเพิ่มเติมของแต่ละโปรแกรมและรวมถึงข้อผิดพลาดของแต่ละโปรแกรมที่เกิดขึ้นขณะทำงานอีกด้วย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางผู้วิจัยได้นำกระบวนการจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นนำมาเป็นแนวทางการจัดทำแอนิเมชันสอง 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ ซึ่งการนำกระบวนการที่

แบ่งออกได้เป็น 3 กระบวนการหลักคือ 1) กระบวนการในการสร้างภาพยนตร์การ์ตูน 2 มิติ 2) กระบวนการสร้างแบบประเมินสื่อการเรียนประเภทภาพยนตร์การ์ตูน 2 มิติ 3) กระบวนการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างในการศึกษางานวิจัยข้างต้นสามารถนำมาปรับใช้เป็นขั้นตอนการการทำงานได้ดียิ่งขึ้น และเทคนิคการใช้สื่อแอนิเมชันในการวัดผลสัมฤทธิ์ในการวัดระดับความพึงพอใจได้ผลที่ดีมากขึ้น อีกทั้งการใช้วิธีการในการวัดระดับความพึงพอใจโดยการใช้ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ทำให้ผู้เรียนสามารถนำมาประยุกต์เป็นแนวทางการพัฒนา และปรับใช้กับการทำแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง “การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ” ได้อย่างมาก

3.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi - Experimental Research) ดำเนินการทดลองแบบการทดลองกลุ่มเดียว (One Group Pretest - Posttest Design) โดยมีตัวแปรอิสระ จำนวน 1 ตัวแปร คือ การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ ส่วนตัวแปรตาม มีจำนวน 1 ตัวแปร คือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่จัดกิจกรรมการเรียนการรู้ด้วยการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติสำหรับกรอบแนวคิดในการวิจัย แสดงในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.4 สมมติฐานการวิจัย

สื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ ส่งผลบวกต่อระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาชั้นปีที่ 4 จำนวน 20 คน ของภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง ดำเนินการทดลองแบบการทดลองกลุ่มเดียว (สุรวาท ทองบุ, 2550) ที่มีการวัดผลสองครั้ง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการวิจัยแบบการทดลองกลุ่มเดียวที่มีการวัดผล 2 ครั้ง

Pretest	Treatment	Posttest
T_1	**X**	**T_2**

สัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปแบบการวิจัย

T_1 หมายถึง การทดสอบก่อนการจัดการเรียนรู้

X หมายถึง การจัดการเรียนรู้โดยการใช้กลุ่มตัวอย่างทดลองเรียนบทเรียนอิเล็กทรอนิกส์

T_2 หมายถึง การทดสอบหลังการจัดการเรียนรู้

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรในงานวิจัยนี้ คือ นักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ศึกษาระดับชั้นปีที่ 4 ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวนทั้งสิ้น 47 คน และกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ นักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ศึกษาระดับชั้นปีที่ 4 ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 20 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาผลการใช้การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ ได้แก่

(1) การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ

(2) แบบทดสอบก่อนเรียน เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบ มี 4 ตัวเลือก จำนวน 15 ข้อ

(3) แบบทดสอบหลังเรียน เป็นแบบทดสอบแบบปรนัย ชนิดเลือกตอบมี 4 ตัวเลือก ชุดข้อสอบเป็นชุดเดียวกันกับแบบทดสอบก่อนเรียน มีการสลับข้อของแบบทดสอบ และสลับข้อของตัวเลือก

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลผลคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียน ทางผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยใช้แบบทดสอบที่สร้างขึ้นนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาสาขาคอมพิวเตอร์ศึกษา ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 20 คน

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการใช้ถิติเชิงอ้างอิงหรือสถิติอนุมาน (Inferential Statistics) ได้แก่ สถิติที (t-test) และการทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis Testing)

5. ผลการวิจัย

การศึกษาและเปรียบเทียบผลพัฒนาการเรียนรู้ของผู้ที่รับชม ก่อนการเรียนและหลังการเรียนด้วยการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 คะแนนแบบทดสอบผลสัมฤทธิ์เปรียบเทียบผลการเรียนรู้ ก่อนเรียนและหลังการเรียน

คนที่	คะแนน	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน
1	7	13
2	6	12
3	8	15
4	8	14
5	7	14
6	6	12
7	9	13
8	8	12
9	7	11
10	8	14
11	9	14
12	10	13
13	5	11
14	6	12
15	8	14

ตารางที่ 2 (ต่อ)

คนที่	คะแนน	
	ก่อนเรียน	หลังเรียน
16	9	14
17	10	15
18	11	14
19	5	12
20	8	11
ค่าเฉลี่ย	**7.75**	**13.00**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**1.650**	**1.297**

จากตางรางที่ 2 คำนวณค่าแจกแจง t – test แบบ Dependent Samples (ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์, 2561) ดังสมการที่ 1

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N\sum D^2 - \left(\sum D\right)^2}{N-1}}} \quad ; \text{df} = \text{N-1} \qquad (1)$$

เมื่อ t แทน ค่าสถิติที่ใช้ในการพิจารณาใน t – distribution

D แทน ความแตกต่างของคะแนนแต่ละคู่

N แทน จำนวนคู่ของคะแนนหรือจำนวนนักเรียน

$\sum D$ แทน ผลรวมทั้งหมดของผลต่างของคะแนนก่อนและหลังการทดลอง

$\sum D^2$ แทน ผลรวมของกำลังสองของผลต่างของคะแนนก่อนและหลังการทดลอง

จากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ผลทั้ง 5 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ ขั้นที่ 3 กำหนดขอบเขตวิกฤติ ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติ ขั้นที่ 5 สรุปตัดสินใจ โดยมีลำดับดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมุติฐาน

ตั้งสมมุติฐานทางสถิติ $H_0 : \mu_{post} = \mu_{pre}$

$H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$

เมื่อ H_0 แทน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนเท่ากับก่อนเรียน

H_1 แทน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน

μ_{pre} แทน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนเรียน

μ_{post} แทน ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียน

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ระดับนัยสำคัญที่ .05 หมายถึง โอกาสที่ไม่เป็นไปตามข้อสรุปมีเพียง .05 ใน 1.00 หรือ 5 ส่วนใน 100 ส่วน นั่นคือ คลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ซึ่งเมื่อมองในมุมกลับก็คือ เชื่อได้ไม่ต่ำกว่า 95%

ขั้นที่ 3 กำหนดขอบเขตวิกฤติ

กำหนด $\alpha = 0.05$ และเป็นการทดสอบแบบทางเดียว ($H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$) ค่าวิกฤตของ t เมื่อ df = N – 1 = 19 และ $\alpha = .05$ จะได้ค่าวิกฤตของ t ($t_{\text{ตาราง}}$) = 1.7291 หาได้จาก ตารางแจกแจง t-test (จตุรพักต์ ประทุม, 2556)

ขั้นที่ 4 คำนวณค่าสถิติที

คำนวณค่าสถิติที จากสูตร (1) จะได้ $t = 17.62$

ขั้นที่ 5 สรุปตัดสินใจ

พิจารณา เมื่อ $t_{คำนวณ} > t_{ตาราง}$ จะปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

เมื่อ $t_{คำนวณ} < t_{ตาราง}$ จะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

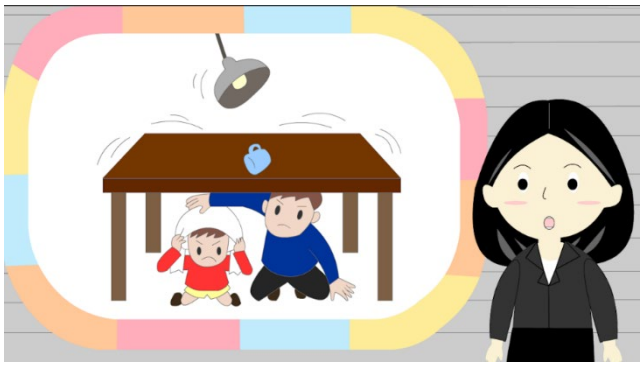
เนื่องจาก $t_{คำนวณ} = 17.62 > t_{ตาราง} = 1.7291$ ดังนั้น จึงปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1 นั่นคือ ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบลงในตารางการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน

การทดสอบ	N	$\bar{x}$	ΣD	ΣD^2	t
ก่อนเรียน	20	7.75	201	1,647	11.40*
หลังเรียน	20	13			

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

จากตารางที่ 3 ผลการทดสอบในตารางการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่ามีคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนมีค่าเท่ากับ 7.75 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียนมีค่าเท่ากับ 13 ตามลำดับ และเมื่อนำคะแนนไปทดสอบความแตกต่างโดยใช้สถิติ t – test แบบ Dependent Samples พบว่า ค่า t จากการคำนวณ เท่ากับ 17.62 ส่วนค่า t จากการเปิดตาราง เท่ากับ 1.7291 ดังนั้น คะแนนแบบทดสอบหลังเรียนของนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ซึ่งผลการศึกษาวิจัยดังกล่าว เป็นไปตามสมมติฐานที่สามารถส่งผลบวกต่อระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษาชั้นปีที่ 4 จำนวน 20 คน สำหรับตัวอย่างภาพการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ มีดังนี้



แผนภาพที่ 2 ฉากอธิบายการเกิดธรณีพิบัติ

แผนภาพที่ 3 ฉากอธิบายวิธีการรับมือกับอัคคีภัย

6. อภิปรายผล

บทเรียนอิเล็กทรอนิกส์ เรื่อง หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ผู้จัดทำได้หาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มตัวอย่างที่จัดกิจกรรมการเรียนการสอนด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้สถิติ t – test แบบ Dependent Samples พบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนเรียน มีค่าเท่ากับ 7.75 และคะแนนเฉลี่ยหลังเรียน มีค่าเท่ากับ 13 ตามลำดับ และเมื่อนำคะแนนไปทดสอบความแตกต่างโดยใช้สถิติ t – test พบว่า ค่า t จากการคำนวณ เท่ากับ 17.62 ส่วนค่า t จากการเปิดตาราง เท่ากับ 1.7291 ดังนั้น คะแนนแบบทดสอบหลังเรียนของนักเรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนสูงกว่าคะแนนแบบทดสอบก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แสดงให้เห็นว่าสื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ สามารถเสริสร้างความความเข้าใจให้กับกลุ่มนักศึกษาได้เป็นอย่างดี ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง สร้างภาพยนตร์แอนิเมชันให้เยาวชนมีความตระหนักในผลกระทบ ที่เกิดจากขยะ (ณัฐพล วรรณาภรณ์, 2560) ทางด้านกระบวนการในการสร้างภาพยนตร์การ์ตูน 2 มิติ และงานวิจัยเรื่อง การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง “ระบบสุริยะ” (เกศสิณีกร กาวี, 2561) ทางด้าน กระบวนการดำเนินการทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากการนำสื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ นำไปใช้พบว่าเนื้อหาที่นำเสนอนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกุล่มทดลองในระดับมัธยมศึกษาตอนปลายได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิตินั้นมีภาพเนื้อหาที่เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อน สวยงาม แต่ไม่มีมิติความลึกและสมจริง ในการสร้างงานแอนิเมชันต่อไปควรพัฒนาให้เป็นรูปแบบสามมิติ เนื่องจากมีความสมจริง ดูเป็นธรรมชาติ ดูมีมิติและสวยงาม เพื่อสร้างความน่าสนใจและความสมจริงในการนำเสนอมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลองใช้สื่อการ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง การเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ

9. เอกสารอ้างอิง

เกศสิณีกร กาวี (2561). *การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง "ระบบสุริยะ"*. วิทยานิพนธ์บัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์.

จตุรพักต์ ประทุม. (2556). *ตารางแจกแจง t-test* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 11 มกราคม 2565, จาก : https://www.slideshare.net/jaturapad/tdistribution

ฉัตรชัย สุดใจ (2562). *การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง ปัญหาโรคไข้เลือดออก.* วิทยานิพนธ์บัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

ชุมพล จันทร์ฉลอง. (2561). การ์ตูนแอนิเมชัน 2 มิติ เรื่อง รักษ์ผืนป่า ผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์. *วารสารวไลยอลงกรณ์ปริทัศน์ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์)*, 8(2), 93-103.

ณัฐพล วรรณาภรณ์. (2560). *แอนิเมชันให้เยาวชนมีความตระหนักในผลกระทบที่เกิดจากขยะ.* บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทวีศักดิ์ กาญจนสุวรรณ. (2552). *ความหมายของแอนิเมชัน.* กรุงเทพมหานครฯ: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สุรวาท ทองบุ. (2550). *การวิจัยทางการศึกษา.* มหาสารคาม : อภิชาตการพิมพ์.

สุทัศศา นารอด. (2552). *ขั้นตอนหลักในการสร้างการ์ตูนแอนิเมชัน* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 11 มกราคม 2565, จาก http://hwan-wanwisa-ritsumret.blogspot.com/2013/07/4.html

เทศบาลตำบลหารแก้ว. (2565). *ภัยพิบัติทางธรรมชาติ* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 มกราคม 2565, จาก http://www.harnkaew.go.th/files/dynamiccontent/file-95381-15270424821814929960.pdf

อาคม พรรณิกร. (2561). *เรื่องควรรู้ในการใช้ชีวิตเมื่อเกิดภัยพิบัติ* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 10 มกราคม 2565, จาก https://www.seub.or.th/bloging/knowledge/เรื่องควรรู้ในการใช้ชี/

การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิตด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล กรณีศึกษา ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ANALYZING THE RISK OF STUDENT DISMISSAL USING DATA MINING CASE STUDY: THE DEPARTMENT COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY OF NARESUAN UNIVERSITY

สุวนันท์ อินทร, ประศาสตร์ บุญสนอง

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: suwanani62@nu.ac.th, prasartb@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิตด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต โดยเป็นการนำเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลของนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นจำนวน 474 คน และเก็บปัจจัยที่เกี่ยวข้องจำนวน 10 ปัจจัย จากผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพ้นสภาพนิสิต คือ เพศ, เกรดเฉลี่ย, ประเภทการเข้ารับการศึกษา, อาชีพของบิดา, อาชีพของมารดา โดยใช้โมเดลการสร้างด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจอัลกอริทึม C4.5 วิธี Percentage split 20% มีค่าประสิทธิภาพความถูกต้อง เท่ากับ 93.93% พบว่าเป็นโมเดลที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้โมเดลต้นไม้ตัดสินใจอัลกอริทึม C4.5 มาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต

คำสำคัญ: การพ้นสภาพนิสิต การทำเหมืองข้อมูล

ABSTRACT

The purpose of this project is to study the cause of student's dismissal by utilizing Decision Tree and Artificial Neural Network. By using the data of 474 students in the Department Computer Science and Information Technology Department students along with 10 factors. The study found that the student's dismissal factors are gender, GPA, entry type, father occupation, and mother occupation. The C4.5 Decision Tree with 93.93% accuracy was found to be the most suitable model and was selected for the web application development to analyze the student's dismissal risk.

Keywords: Student Dismissal, Data Mining

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การพ้นสภาพการศึกษาถือว่าเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่เป็นปัญหาที่สำคัญของสถาบันการศึกษา ซึ่งจากสถานการณ์ที่ผ่านมาทางคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้มีการรับนิสิตเข้ามาศึกษาในหลักสูตรวิทยาการคอมพิวเตอร์และหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ พบว่ามีนิสิตที่พ้นสภาพการศึกษาโดยไม่สามารถสำเร็จการศึกษาได้ตั้งแต่ปีการศึกษา 2555-2561 คิดเป็นอัตราเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ20 จากจำนวนที่รับเข้า จากข้อมูลที่ได้มาจากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้วิจัยพบว่ามีนิสิตที่ได้เกรดเฉลี่ยสะสมอยู่ในระดับที่เรียกว่ารอพินิจหรือนิสิตที่ต้องพ้นสภาพการศึกษา โดยมีสาเหตุที่ทำให้นิสิตมีสถานภาพรอพินิจหรือพ้นสภาพการศึกษา คือ เกรดเฉลี่ยสะสมของนิสิตต่ำกว่าเกณฑ์ที่ทางมหาวิทยาลัยกำหนดไว้ ซึ่งจากข้อมูลของกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวรพบว่าการพ้นสภาพนิสิตของนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศนั้นมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกๆ ปี

จากปัญหาข้างต้นผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงปัญหาและความสำคัญดังกล่าวจึงมีแนวคิดในการนำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลด้วยต้นไม้ตัดสินใจและโครงข่ายประสาทเทียมมาสร้างแบบจำลองการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้รับมาจากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ประกอบไปด้วยข้อมูลนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2555-2561 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการพ้นสภาพนิสิต และเปรียบเทียบการทำเหมืองข้อมูลระหว่างต้นไม้ตัดสินใจและโครงข่ายประสาทเทียม และเพื่อนำมาพัฒนาเป็นระบบทำนายการพ้นสภาพของนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวรต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

1) เพื่อศึกษาปัจจัยเสี่ยงที่มีผลต่อการพ้นสภาพของนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

2) เพื่อวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองการทำนายการพ้นสภาพนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดเกี่ยวกับการพ้นสภาพนิสิต

มหาวิทยาลัยนเรศวร (2559) พ้นสภาพนิสิต หมายถึง นิสิตที่มีผลการเรียนไม่ตรงตามที่มหาวิทยาลัยกำหนด ลาออกจากการศึกษา มีความประพฤติที่ไม่เหมาะสม ขาดคุณสมบัติของการเข้าเป็นนิสิต โอนไปเป็นนิสิตนักศึกษาสถาบันการศึกษาอื่น และไม่ลงทะเบียนเรียนรายวิชา เป็นต้น

1) การพ้นสภาพนิสิต ได้แก่ ตาย, ลาออก, โอนไปเป็นนิสิต นักศึกษาสถาบันการศึกษาอื่น, ขาดคุณสมบัติของการเข้าเป็นนิสิต, ไม่มาลงทะเบียนเรียนภายในเวลาที่มหาวิทยาลัยกำหนด, มีความประพฤติไม่สมควรเป็นนิสิต หรือกระทำการอันก่อให้เกิดความเสื่อมเสียแก่มหาวิทยาลัย และมหาวิทยาลัยเห็นสมควรให้ถอนชื่อจากทะเบียนนิสิต, เมื่อได้ขึ้นทะเบียนเป็นนนิสิตมหาวิทยาลัยนเรศวรเป็นเวลา 2 เท่าของเวลาที่กำหนดไว้ใน

แผนการศึกษาของสาขาวิชานั้นแล้วยังไม่สำเร็จการศึกษา และมีผลการเรียนต่ำกว่าเกณฑ์ที่มหาวิทยาลัยกำหนด เป็นต้น

ระเบียบการพ้นสภาพนิสิตของมหาวิทยาลัยนั้นจะจำแนกสภาพนิสิตเมื่อสิ้นสุดทุกภาคการศึกษา สำหรับผลการเรียนภาคฤดูร้อนจะนำไปรวมกับผลการเรียนในภาคการศึกษาต่อไปที่นิสิตลงทะเบียนเรียน ยกเว้น นิสิตที่สำเร็จการศึกษาในภาคเรียนฤดูร้อน นิสิตปกติ คือ นิสิตต้องมีผลการเรียน 2.00 ขึ้นไป นิสิตรอพินิจ คือ นิสิตที่มีผลการเรียนรวมน้อยกว่า 2.00 การคิดสภาพนิสิตจากผลการเรียนมีดังนี้

(1) ถ้านิสิตเรียนมาแล้วสองภาคการศึกษาปกติ แล้วผลการเรียนรวมไม่ถึง 1.50 จะพ้นสภาพนิสิต

(2) ถ้านิสิตเรียนมาแล้วสี่ภาคการศึกษาปกติ แล้วผลการเรียนรวมไม่ถึง 1.75 จะพ้นสภาพนิสิต

(3) นิสิตที่เรียนมาแล้วสี่ภาคการศึกษาปกติขึ้นไป แล้วผลการเรียนไม่ถึง 1.75 จะพ้นสภาพนิสิต

ในภาคการศึกษาใด หากนิสิตไม่ลงทะเบียนเรียนในเวลาที่กำหนดหรือลงทะเบียนเรียนแล้วแต่ไม่ชำระเงินค่าลงทะเบียนเรียนภายในระยะเวลาที่มหาวิทยาลัยกำหนดก็จะถือว่านิสิตพ้นสภาพนิสิตเช่นกัน

2) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพ้นสภาพนิสิต

สุรชัย เดชมี (2561) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพ้นสภาพนิสิต หมายถึง ปัจจัยที่ส่งผลต่อการพ้นสภาพของนิสิต ทำให้นิสิตไม่สามารถจบการศึกษาตามหลักสูตรที่มหาวิทยาลัยกำหนดได้ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการพ้นสภาพนิสิต สามารถแบ่งได้เป็น 2 ปัจจัยหลักๆ ดังนี้

(1) ปัจจัยที่คณะควบคุมได้ ได้แก่

- เกรดเฉลี่ย คือ ทางคณะสามารถควบคุมเชิงนโยบายที่รายวิชาได้ เช่น ตัดรายวิชาที่ไม่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศออกจากหลักสูตร ได้แก่ วิชาฟิสิกส์, วิชาเคมี, วิชาชีววิทยา เป็นต้น ซึ่งรายวิชาดังกล่าวนี้มีผลทำให้เกรดเฉลี่ยรวมของนิสิตต่ำกว่าเกณฑ์

- ประเภทการเข้ารับการศึกษา คือ คณะวิทยาศาสตร์ได้มีการเปิดรับนิสิตเข้ามาศึกษาต่อในภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยจะแบ่งรอบการรับเข้าเป็นจำนวน 4 รอบ ได้แก่ รอบที่ 1 โครงการพิเศษการรับนิสิตด้วย Portfolio, รอบที่ 2 โครงการระบบรับตรง (โควตา), รอบที่3 ส่วนกลาง-Admissions, และรอบที่ 4 รับตรงอิสระ

- ทุนการศึกษา คือ มหาวิทยาลัยหรือคณะมีทุนการศึกษาให้นิสิตที่ขาดแคลนไม่เพียงพอต่อความต้องการหรือมีการประชาสัมพันธ์ข้อมูลด้านการศึกษาไม่ชัดเจนและไม่ทั่วถึง

- สาขาวิชา คือ คณะวิทยาศาสตร์มี 5 ภาควิชา ซึ่งหนึ่งในนั้นคือภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

(2) ปัจจัยที่คณะควบคุมไม่ได้ ได้แก่

- สภาพครอบครัว คือ สภาพการณ์เกี่ยวกับสถานะทางครอบครัวของนิสิต เช่น อาชีพของบิดามารดาไม่มั่นคงหรือบิดามารดาว่างงาน, รายได้ของบิดามารดาไม่เพียงพอต่อการใช้จ่ายในชีวิตประจำวัน และขนาดของครอบครัว คือ มีคนในครอบครัวและพี่น้องเป็นจำนวนมาก เป็นต้น ซึ่งผลกระทบของสภาพครอบครัวนั้นมีผลกระทบไม่มากเท่าเกรดเฉลี่ยและประเภทการรับเข้าการศึกษา

3.2 แนวคิดเกี่ยวกับการทำเหมืองข้อมูล

สายสุนีย์ จับโจร (2561) การทำเหมืองข้อมูลเป็นกระบวนการค้นหาสารสนเทศหรือความรู้ที่อยู่ในฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน เพื่อนำความรู้ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ สารสนเทศที่ได้อาจนำมาใช้ในการทำนายหรือสร้างตัวแบบสำหรับจำแนกหน่วย กลุ่ม หมู่ หรือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆ และการเรียนรู้ผ่านระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งเหมืองข้อมูลมีขั้นตอนการดำเนินการหลายขั้นตอน ดังนั้นจึงต้องอาศัยเทคนิคหรือวิธีการต่างๆ เช่น วิธีการจัดกลุ่ม การค้นหาความสัมพันธ์ การพยากรณ์ เป็นต้น ซึ่งการทำเหมืองข้อมูลมีรูปแบบของขั้นตอนวิธีในการทำเหมืองข้อมูล ดังนี้

1) รูปแบบของการทำเหมืองข้อมูล

(1) การแบ่งหมวดหมู่ (Classification) เป็นการจำแนกหรือแบ่งหมวดหมู่ข้อมูลเพื่อจัดจำแนกประเภทข้อมูลหรือเพื่อบ่งชี้คุณลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่ง

(2) การแบ่งกลุ่ม (Clustering) เป็นการระบุกลุ่มของข้อมูล โดยพิจารณาจากลักษณะร่วมอันใดอันหนึ่ง

(3) การคาดการณ์ (Prediction) เป็นการประมาณค่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยอาศัยการพิจารณาจากรูปแบบที่ได้จากชุดข้อมูลขนาดใหญ่เป็นข้อมูลพื้นฐาน เพื่อนำมาใช้ในการทำนาย พยากรณ์สิ่งต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น

(4) การหาความสัมพันธ์ (Association) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่เกิดขึ้นหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาใช้ในการวางแผน จัดการหรือกระทั่งคาดการณ์โอกาสหรือดำเนินการอื่นใด

(5) การเรียงลำดับ (Sequencing) คล้ายกับความสัมพันธ์ เว้นแต่ว่าความสัมพันธ์เกิดขึ้นข้ามช่วงเวลา หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นการค้นหาความสัมพันธ์แบบเรียงลำดับ

2) ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree)

สายสุนีย์ จับโจร (2561) ได้กล่าวว่า ต้นไม้ตัดสินใจเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีโครงสร้างข้อมูลชนิดเป็นลำดับชั้น สำหรับการหาทางเลือกที่ดีที่สุด เพื่อใช้สนับสนุนการตัดสินใจ โดยมีการนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ในรูปแบบของโครงสร้างต้นไม้ ที่มีการเรียนรู้ข้อมูลแบบมีผู้สอนสามารถสร้างแบบจำลองการจัดหมวดหมู่จากกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลที่กำหนดไว้ล่วงหน้าได้โดยอัตโนมัติ และสามารถพยากรณ์กลุ่มของรายการที่ไม่เคยนำมาจัดหมวดหมู่ได้ โดยปกติต้นไม้ตัดสินใจมักจะประกอบด้วยกฎในรูปแบบ “ถ้า เงื่อนไข แล้ว ผลลัพธ์”

อัลกอริทึม C4.5 เป็นอัลกอริทึมหนึ่งที่ใช้สร้างต้นไม้ตัดสินใจ เป็นส่วนขยายของอัลกอริทึม ID3 ซึ่งเป็นจุดมาตรฐานของอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบมีผู้สอน อัลกอริทึม C4.5 สามารถเข้าถึงในแต่ละโหนดการตัดสินใจได้ โดยใช้ความถูกต้องของแต่ละแอตทริบิวต์ของข้อมูล เพื่อใช้เป็นการตัดสินใจแบ่งกลุ่มข้อมูลไปยังกลุ่มย่อยๆ อัลกอริทึม C4.5 จะพิจารณาตรวจสอบความแตกต่างในเอนโทรปี ผลลัพธ์ที่ได้จากการเลือกแอตทริบิวต์สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยคุณลักษณะด้วยค่าความแตกต่างในเอนโทรปีสูงสุด

3) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN)

สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2560) ได้กล่าวว่า โครงข่ายประสาทเทียมประกอบไปด้วย 3 ประเภท คือ โครงข่ายแบบชั้น (Layered network) โครงข่ายแบบไปข้างหน้า(Feedforward Network) และโครงข่ายแบบเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ (Completely Connected Network) ของเซลล์ประสาท โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบไปด้วย 2 ชั้น หรือมากกว่า 2 ชั้น แต่โครงข่ายประสาทเทียมส่วนใหญ่จะประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นข้อมูลเข้า (Input

Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นข้อมูลออก (Output Layer) โดยอาจจะมีชั้นซ่อนมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ การเชื่อมต่อกันระหว่างโหนดมีการถ่วงน้ำหนักที่สัมพันธ์

โดยทั่วไปจำนวนของโหนดของข้อมูลเข้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนและชนิดของคุณลักษณะ (Attribute) หากโหนดในชั้นซ่อนมีขนาดใหญ่มากเกินไปจะนำไปสู่ความซับซ้อนของตัวแบบมากเกินจำเป็น (Overfitting) ถ้าเกิดความซับซ้อนของตัวแบบมากเกินความจำเป็นอาจจะพิจารณาให้ลดจำนวนของโหนดในชั้นซ่อน และในทางตรงกันข้ามเพื่อความถูกต้องในการฝึกหัดต่ำจนไม่สามารถยอมรับได้ อาจจะเพิ่มจำนวนโหนดในชั้นซ่อนก็ได้ เพื่อให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงกันระหว่างเซลล์ประสาท โดยสามารถตรวจโครงสร้างของโหนดในชั้นซ่อน และโหนดชั้นข้อมูลออก โดยใช้ฟังก์ชันการรวมกัน (∑) จะเป็นการรวมกันเชิงเส้นของข้อมูลเข้า และเชื่อมต่อกันด้วยการถ่วงน้ำหนัก เรียกว่า Net

โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multilayer Perceptron: MLP) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่นิยมใช้มากที่สุด เป็นโครงข่ายที่สามารถทำงานที่มีความซับซ้อนมากๆ ได้ อาจกล่าวได้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานเกือบทุกประเภท โดยมีข้อแม้ว่าต้องมีจำนวนชั้นและจำนวนนิวรอนที่เหมาะสม

การเรียนรู้แบบPerceptron ปัญหาของการเรียนรู้ในโครงข่ายประสาทเทียมเป็นการหาค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ทำให้โครงข่ายส่งค่าเอาต์พุต (Network Output) มาตรงตามค่าที่คาดหวัง (Desired Output) หรือค่าเป้าหมาย (Target) ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้รู้จักข้อมูลจะต้องมีตัวอย่างที่จะสอน ซึ่งประกอบด้วยคู่ข้อมูลอินพุตและเป้าหมาย (Input / Output Pairs) ซึ่งเรียกว่า ชุดการฝึกฝน (Training Set)

3.3 แนวคิดเกี่ยวกับการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล

การทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลจะเริ่มหลังจากที่ได้สร้างโมเดลขึ้นมาแล้วไม่ว่าโมเดลนั้นจะใช้เทคนิคใดก็ตาม แต่จำเป็นต้องมีการวัดประสิทธิภาพเพื่อที่จะนำไปใช้จริงหรือเพื่อหาคำตอบให้กับข้อมูลใหม่ โดยการวัดประสิทธิภาพส่วนใหญ่นั้นจะวัดด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) โดยการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลนั้นมีการทดสอบที่หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับการเลือกใช้

การแบ่งข้อมูลเพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดลมี 3 วิธีการ ดังนี้

(1) วิธี Self Consistency Test หรือเรียกว่า Use Training Set เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดนั่นคือข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโมเดลและข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบโมเดลเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน กระบวนการนี้เริ่มจากการสร้างโมเดลด้วยข้อมูล Training Data หลังจากนั้นนำโมเดลที่สร้างได้มาทำนายข้อมูล Training Data ชุดเดิม การวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีนี้จะให้ผลการวัดประสิทธิภาพที่มีค่าสูงมาก เนื่องจากเป็นข้อมูลชุดเดิมที่ระบบได้ทำการเรียนรู้มาแล้ว แต่ผลการวัดที่ได้ไม่เหมาะที่จะนำไปรายงานในงานวิจัยต่างๆ ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อดูแนวโน้มของโมเดลที่สร้างขึ้นถ้าได้ผลการวัดที่น้อย แสดงว่าโมเดลไม่เหมาะสมกับข้อมูลจึงไม่ควรจะนำไปทดสอบด้วยวิธีการแบ่งข้อมูลแบบต่างๆ

(2) วิธี Split Test วิธีการแบ่งข้อมูลด้วยการสุ่มแบ่งออกเป็น 2 ส่วน เช่น 70% ต่อ 30% หรือ 80% ต่อ 20% โดยข้อมูลส่วนที่1 (70% หรือ 80%) ใช้ในการสร้างโมเดลและข้อมูลส่วนที่2 (30% หรือ 20%) ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล แต่การทดสอบนี้ทำการส่งข้อมูลเพียงครั้งเดียว ซึ่งในบางครั้งถ้าการส่งข้อมูลที่ใช้ได้ในการทดสอบที่มีลักษณะคล้ายกับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างโมเดล ทำให้ผลการวัดประสิทธิภาพได้ออกมาดี ในทางตรงกันข้ามถ้าการส่งข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบที่มีลักษณะแตกต่างกับข้อมูลที่ใช้สร้างโมเดลมาก ทำให้ผลการวัดประสิทธิภาพได้ออกมาแย่ ดังนั้นจึงควรใช้วิธีการนี้หรือทำการสุ่มหลายๆ ครั้ง แต่ข้อดีของวิธีการนี้คือใช้เวลาในการสร้างโมเดลน้อย ซึ่งเหมาะกับชุดข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มาก

(3) วิธี Cross-validation Test วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล เนื่องจากผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธี Cross-validation นี้จะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นหลายส่วน เช่น 10-fold Cross-validation คือการทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หรือ 10-fold Cross-validation คือการแบ่งข้อมูลออกเป็น 10 ส่วน โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนข้อมูลเท่ากัน หลังจากนั้นข้อมูลหนึ่งส่วนจะใช้เป็นตัวทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล ทำวนไปเช่นนี้จนครบจำนวนที่แบ่งไว้

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นนทวัฒน์ ทวีชาติ และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษาเรื่องระบบทำนายการพ้นสภาพของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายการพ้นสภาพของนักศึกษาระดับปริญญาตรี และพัฒนาระบบการทำนายการพ้นสภาพของนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยเลือกใช้เทคนิคการจำแนกประเภทด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและใช้อัลกอริทึม J48 เพื่อสร้างแบบจำลองการทำนายการพ้นสภาพของนักศึกษา และทำการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการทดสอบแบบไขว้ทบแบบ 10 ส่วน โดยใช้โปรแกรมเวก้า ผลการวิจัยสรุปได้ว่าแบบจำลองการทำนายการพ้นสภาพของนักศึกษา มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 11 ปัจจัย คือ สาขาวิชาที่เรียน เกรดสะสม 6 เทอม เกรดเฉลี่ยจากโรงเรียนเดิม หลักสูตรที่จบจากโรงเรียนเดิม ขนาดโรงเรียน และทุนกู้ยืม

ชณิดาภา บุญประสม และคณะ (2561) ได้ทำการศึกษาเรื่องการวิเคราะห์การทำนายการลาออกกลางคันของนักศึกษาระดับปริญญาตรี โดยใช้เทคนิควิธีการทำเหมืองข้อมูล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการลาออกกลางคันของนักศึกษาระดับปริญญาตรี สังเคราะห์โมเดลสำหรับการทำนายการออกกลางคันของนักศึกษาระดับปริญญาตรี และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลของโมเดลด้วยเทคนิควิธี Decision tree, K-Nearest Neighbors, Naive Bayes ผลการวิจัยสรุปได้ว่า 1) มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการลาออกกลางคันของนักศึกษาจำนวน 8 ปัจจัย 2) นำปัจจัยที่ได้มาทำการสร้างเป็นโมเดลทดสอบผลลัพธ์ด้วยวิธีการ 10-fold cross validation และวัดประสิทธิภาพด้วยค่า Accuracy เพื่อหาวิธีการที่มีความถูกต้องมากที่สุด 3) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกข้อมูลพบว่าโมเดลที่สร้างด้วยเทคนิควิธี Naive Bayes มีประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 93.58 % มากกว่าเทคนิควิธี Decision Tree มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 93.52 % และเทคนิควิธี K-Nearest Neighbors มีค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 87.95% และมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องสูงสุด 5 อันดับ ได้แก่ การกู้ยืมกองทุนเพื่อการศึกษา สาขาวิชา เกรดเฉลี่ย อาชีพของมารดา และอาชีพของบิดา

S. Omkar and M. Parag. (2015) Used to study the data available in the educational field and bring out the hidden knowledge from it. Classification methods like decision trees can be applied on the educational data for predicting the students' performance. This prediction will help to identify the dropout students and in order to provide them with both academic support and guidance for motivating and trying to prevent student failure. Dataset is applied to different classifiers of Weka: J48, RandomForest, RepTree and BFTree of Decision Tree and JRip rule.

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เครื่องมือวิจัย

การวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลนั้นผู้วิจัยจะใช้โปรแกรมเวกา (Weka 3.6) เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและโครงข่ายประสาทเทียม

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นในส่วนของนิสิตที่พ้นสภาพการเป็นนิสิต โดยข้อมูลมาจากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร ข้อมูลของนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศในปีการศึกษา 2555-2561 จำนวนทั้งสิ้น 474 คน โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยว่ามีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลต่อการพ้นสภาพนิสิตและได้ทำการศึกษาการทำเหมืองข้อมูล เพื่อนำมาปรับใช้ในการวิเคราะห์การพ้นสภาพนิสิตและเพื่อนำมาพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน

การเก็บรวบรวมข้อมูลนั้น จะเป็นการนำข้อมูลของนิสิตภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศที่ได้รับมาจากกองบริการการศึกษามหาวิทยาลัยนเรศวร มาจัดเรียงข้อมูลให้เรียบร้อย โดยข้อมูลที่จัดเก็บมาได้นั้นจะอยู่ในรูปแบบของ Microsoft Excel และจะทำการจัดเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการคัดเลือกข้อมูลนำเข้า โดยการนำข้อมูลที่ได้มานั้นมาตรวจสอบดูว่าข้อมูลใดเป็นข้อมูลที่สามารถนำเอาไปใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุได้ ข้อมูลที่ไม่มีค่า ข้อมูลที่สูญหาย ซึ่งข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ จึงต้องมีการกลั่นกรองข้อมูลเบื้องต้นก่อน ดังนั้นจึงต้องเลือกเฉพาะคอลัมน์ที่มีข้อมูลครบถ้วนและสมบูรณ์ และจากนั้นจะทำการแปลงข้อมูล ซึ่งจะทำให้สามารถเอาข้อมูลนำมาวิเคราะห์ในโปรแกรมเวก้าต่อไป ในการเตรียมข้อมูลนำเข้า การเตรียมข้อมูลมาวิเคราะห์ในโปรแกรมเวก้า ไฟล์ข้อมูลจำเป็นที่จะต้องแปลงจากไฟล์นามสกุล .xls ให้เป็นไฟล์นามสกุล .csv จึงจะสามารถนำข้อมูลเข้าไปวิเคราะห์ในโปรแกรมเวก้าได้ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แอตทริบิวต์และคุณลักษณะของข้อมูล

ปัจจัยเสี่ยง	คำอธิบาย	รายละเอียด
STUDENTSEX	เพศ	เพศชาย=F, เพศหญิง=M
STUDENT_GPA	เกรดเฉลี่ย	
ENTRYTYPE	ประเภทการเข้ารับการศึกษา	โครงการพิเศษการรับนิสิตด้วย Portfolio =0, โครงการระบบรับตรง (โควตา) =1, ส่วนกลาง-Admissions =2, รับตรงอิสระ=3, โครงการเด็กดีมีที่เรียน=4
SCHOLARNAME	ทุนการศึกษา	ทุนครอบครัว=0, กรอ.=1, กยศ.=2, ทุนอื่นๆ=3
MAJOR	สาขาวิชา	สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์=CS, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ=IT
FATHEROCCUP	อาชีพของบิดา	ว่างงาน=0, เกษตร,ประมง=1, ค้าขาย,ธุรกิจส่วนตัวและอาชีพอิสระ=2, รับราชการ=3, รัฐวิสาหกิจ=4, พนักงานหน่วยงานเอกชน=5, พนักงานราชการ=6, อื่นๆ=7
FATHERREVENUE	รายได้ของบิดา	ไม่ระบุ=0, น้อยกว่า 150,000 บาท/ปี=1, 150,000 - 300,000 บาท/ปี=2
MOTHEROCCUP	อาชีพของมารดา	ว่างงาน=0, เกษตร,ประมง=1, ค้าขาย,ธุรกิจส่วนตัวและอาชีพอิสระ=2, รับราชการ=3, รัฐวิสาหกิจ=4, พนักงานหน่วยงานเอกชน=5, พนักงานราชการ=6, อื่นๆ=7
MOTHERREVENUE	รายได้ของมารดา	ไม่ระบุ=0, น้อยกว่า 150,000 บาท/ปี=1, 150,000 - 300,000 บาท/ปี=2, มากกว่า 300,000บาท/ปี=3
STUDENTSUNNUM	จำนวนพี่น้องทั้งหมด	0-6 คน
STUDENTSTATUS	สถานภาพ	สำเร็จการศึกษา=Y, พ้นสภาพ=N

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการสร้างโมเดล ทดสอบโมเดล และเปรียบเทียบโมเดล โดยมีการเปรียบเทียบโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม Multilayer Perceptron โดยวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีการใช้ Percentage split 20% 30% และ 66% ตามลำดับ และวิธี Cross Validation ชนิด 5-Fold Cross Validation และ 10-Fold Cross Validation

โดยสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ใช้โมเดลการสร้างด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจอัลกอริทึม C4.5 วิธี Percentage split 20% เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีค่าประสิทธิภาพความถูกต้อง เท่ากับ 93.93% ซึ่งเป็นโมเดลที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาระบบต่อไป

5. ผลการวิจัย

1) ผลจากการเปรียบเทียบโมเดลต้นไม้ตัดสินใจและโครงข่ายประสาทเทียม

การเปรียบเทียบโมเดลของต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 และโมเดลโครงข่ายประสาทเทียมด้วยอัลกอริทึม Multilayer Perceptron พบว่าโมเดลที่ได้จากเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 วิธี Percentage split 20% มีค่าความถูกต้องเท่ากับ 93.93% และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมด้วยอัลกอริทึม Multilayer Perceptron วิธี 5-Fold Cross Validation มีค่าความถูกต้อง 92.20% ซึ่งเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 ด้วยวิธี Percentage split 20% มากที่สุด โดยมีค่าความถูกต้อง 93.93% ค่าความแม่นยำ 93.70% ค่าความระลึก 93.90% และค่าความถ่วงดุล 93.70% ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้โมเดลต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 วิธี Percentage split 20% มาพัฒนาเป็นเว็บแปพลิเคชันวิเคราะห์ความเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิตต่อไป

ตารางที่ 2 ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของต้นไม้ตัดสินใจ

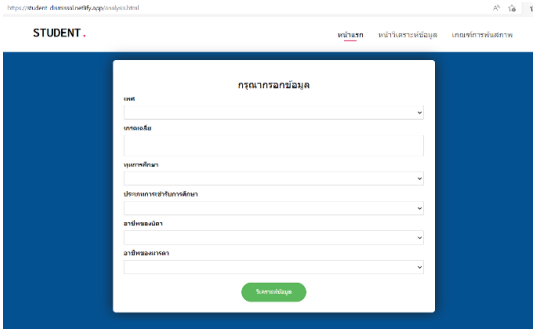
รูปแบบของแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ	Correctly Classified Instances (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)
5-Fold Cross Validation	93.25	93.00	93.20	92.80
10-Fold Cross Validation	93.46	93.20	93.50	93.00
Percentage split 20%	**93.93**	93.70	93.90	93.70
Percentage split 30%	92.47	92.00	92.50	92.10
Percentage split 66%	93.79	93.30	93.80	93.40

ตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียม

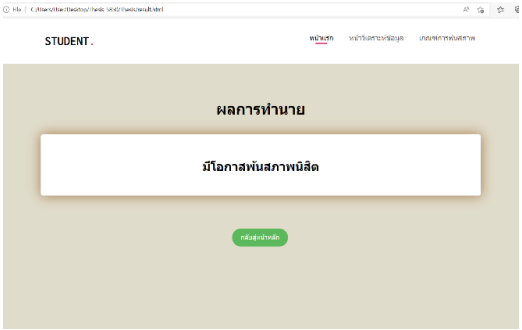
ค่าประสิทธิภาพ	Correctly Classified Instances (%)	Precision (%)	Recall (%)	F-Measure (%)
5-Fold Cross Validation	**92.20**	91.80	92.20	91.80
10-Fold Cross Validation	90.23	90.60	90.90	90.70
Percentage split 20%	89.45	89.30	89.40	89.40
Percentage split 30%	88.25	88.60	88.30	88.40
Percentage split 66%	90.06	91.70	90.10	90.70

2) ผลการพัฒนาออกแบบระบบ

เมื่อผู้วิจัยได้โมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดแล้ว จึงนำไปสร้างเป็นเว็บแอปพลิเคชัน โดยจะใช้โมเดลของต้นไม้ตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม C4.5 โดยใช้การแบ่งข้อมูลแบบ Percentage split 20% ซึ่งมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ 93.93% โดยจะมีข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เพศ, เกรดเฉลี่ย, ประเภทการเข้ารับการศึกษา, อาชีพของบิดา, อาชีพของมารดา



รูปที่ 1 แสดงหน้ากรอกข้อมูล



รูปที่ 2 แสดงหน้าผลลัพธ์

6. อภิปรายผล

จากผลการศึกษา พบว่า การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลมาเปรียบเทียบหาค่าที่ดีที่สุดของโมเดล และนำมาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน โดยนำเอาตัวโมเดลของแต่ละอัลกอริทึมของต้นไม้ตัดสินใจและโครงข่ายประสาทเทียม นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวโมเดลที่ดีที่สุดและนำมาพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินความเสี่ยงต่อการพ้นสภาพได้จากปัจจัยที่เกี่ยวข้องและปรับปรุงแก้ไขเพื่อที่จะไม่เป็นนิสิตที่พ้นสภาพการเป็นนิสิต

7. ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลนั้นยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้อยู่ในรูปแบบแอปพลิเคชันบนมือถือ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษารองศาสตราจารย์ประศาสตร์ บุญสนอง ที่กรุณาให้คำแนะนำชี้แนะในเรื่องต่างๆ ตลอดจนแก้ไขจุดบกพร่องให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูล

9. เอกสารอ้างอิง

ชณิดาภา บุญประสม และคณะ. (2561). การวิเคราะห์การทำนายการลาออกกลางคันของนักศึกษา

นนทวัฒน์ ทวีชาติ และคณะ. (2563). *ระบบทำนายการพ้นสภาพของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล.* วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2559). *ข้อบังคับมหาวิทยาลัยนเรศวรว่าด้วยการศึกษาระดับปริญญาตรี พ.ศ. 2559* (หน้า 9-10). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ระดับปริญญาตรี โดยใช้เทคนิควิธีการทำเหมืองข้อมูล. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 9*(1), 142-151.

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. (2560). *การทำเหมืองข้อมูล เล่ม1 : การค้นหาความรู้จากข้อมูล.* พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: จามจุรีโปรดักส์.

สายสุนีย์ จับโจร. (2561). *การทำเหมืองข้อมูลและการนำไปประยุกต์ใช้.* นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

สุรชัย เดชมี. (2561). *การวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงต่อการพ้นสภาพนิสิต คณะวิทยาศาสตร์ ระดับปริญญาตรี.* วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร.

S. Omkar and M. Parag. (2015). Predicting Dropout Student Using Data-Mining Techniques. *IJR, 2*(1), 369-375.

การประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการประมวลข้อมูลการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

AN APPLICATION OF DATA MINING TECHNIQUES IN DATA PROCESSING FOR STUDENT ADMISSION TO SURINDRA RAJABHAT UNIVERSITY

วิทวัส สุขชีพ
สาขาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: s6402042910045@email.kmutnb.ac.th
จรัญ แสนราช
สาขาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: charun.s@fte.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการประมวลข้อมูลการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยนำข้อมูลนำเข้ารายปีตั้งแต่ปีการศึกษา 2561 ถึง ปีการศึกษา 2564 มาประมวลผลด้วยโปรแกรม Rapid Miner เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแยกรายปีตามรอบการรับนักศึกษาของมหาวิทยาลัย โดยนำมาวิเคราะห์ผลรวมของแต่ละคณะในแต่ละรอบการรับนักศึกษา จึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยแยกตามคณะ ทั้งนี้เพื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาอ้างอิงการพิจารณาโควต้าการรับของแต่ละคณะเพื่อวางแผนการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในปีการศึกษาต่อไป

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาแต่ละรอบ ตั้งแต่ปีการศึกษา 2561 – 2564 อันดับหนึ่งคือ รอบรับตรงมีจำนวน 1,091 คน อันดับสอง รอบโควต้า 363 คน และอันดับสาม รอบ Portfolio 116 คน เมื่อพิจารณารายคณะพบว่า ปี 2561 (ค.บ.) สังคมศึกษามียอดโควต้าสูงสุด ปี 2562 (ค.บ.)ภาษาอังกฤษมียอดโควตาสูงสุด ปี 2563 (ค.บ.) พลศึกษามียอดโควต้าสูงสุด ปี 2564 (บช.บ.) การบัญชีมียอดโควตาสูงสุด สรุปได้ว่าในแต่ละปีมีผู้สนใจเข้าศึกษาตามโควต้าหลากหลายไม่ซ้ำคณะและสาขาวิชา ส่งผลให้มหาวิทยาลัยมีความจำเป็นต้องใช้เกณฑ์การพิจารณาที่หลากหลายเพื่อให้สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ที่ได้ตั้งไว้

คำสำคัญ: เหมืองข้อมูล, การรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อ

ABSTRACT

The aims of this research were to apply data mining techniques in data processing for student admissions to Surindra Rajabhat University. The annual input data from the 2018 academic year to the academic year 2021 are processed by Rapid Miner to analyze the data annually according to the student admission cycle of the university. By analyzing the total results of each faculty in each admission cycle. Therefore, the obtained results were analyzed by means of different faculties. This is to use the results from the analysis to refer to the consideration of the admission quota of each faculty in order to plan the admission of students to study in the next academic year.

The results showed that Average of student admissions for each round from the academic year 2018 – 2021, the first place is There are 1,091 direct admission rounds, second place in the quota round of 363 people, and third place in the portfolio round of 116 people. When considering the faculty, it was found that in 2018 (B. Ed.) Social Studies had the highest quota in 2019 (B. Ed.) English has the highest quota in 2020 (B. Ed.) Physical Education has the highest quota in 2021 (B.A.) Accounting has the highest quota. It can be concluded that each year there are people who are interested in studying according to the quota of different faculties and disciplines. As a result, universities need to use a variety of consideration criteria to align.

Keywords: Data mining, Student Admission.

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ มีพันธกิจในการผลิตบัณฑิตให้เป็นที่ยอมรับของชุมชน ท้องถิ่นและผู้ประกอบการ สร้างผลงานวิจัยให้เป็นที่ยอมรับ ให้บริการวิชาการแก่ชุมชนที่เน้นการยกระดับรายได้และคุณภาพชีวิต อนุรักษ์และส่งเสริมทำนุบำรุงและศิลปวัฒนธรรมประสานงานระดับท้องถิ่นสู่สากล ผลิตและพัฒนาครู ให้มีคุณภาพสอดคล้องกับการพัฒนาประเทศให้เป็นที่ยอมรับในระดับมาตรฐานสากลที่มุ่งการพัฒนาชุมชนและสังคมให้เข้มแข็ง การเป็นสถาบันการศึกษาที่เน้นการบริหารจัดการที่มีคุณภาพใช้เทคโนโลยี และบริหารจัดการที่มีธรรมาภิบาล (มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 2565) ทั้งนี้มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ มีแผนยุทธศาสตร์ในการศึกษาสภาวการณ์และบริบทที่เปลี่ยนแปลงไปในโลกปัจจุบัน ภายใต้กรอบคิดที่สำคัญคือ การมุ่งพัฒนามหาวิทยาลัยให้เป็น “มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น” จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาการการรับนักศึกษาแต่ละรอบตามรายละเอียดของแต่ละคณะวิชาเพื่อให้สอดคล้องกับพันธกิจและแผนยุทธศาสตร์ของมหาวิทยาลัยต่อไป (กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 2564) การนำเหมืองข้อมูล (Data Mining) มาใช้ประโยชน์ในการประมวลผลข้อมูล โดยใช้ข้อมูลจริงที่เก็บไว้ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยผ่านกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ในการค้นหารูปแบบ (Pattern) กฎเกณฑ์ (Rule) ของความสัมพันธ์ เพื่อให้ได้มาซึ่งความรู้ที่ต้องการในการนำมาใช้ตัดสินใจ (Laokietkul, J. , 2015) โดยรูปแบบของข้อมูล ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์นั้นสามารถเป็นได้ทั้งข้อมูลแบบมีโครงสร้างและข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้าง ซึ่งเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูล เช่น การแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) การจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) และการประมาณค่าข้อมูล (Regression) เป็นต้น ในการใช้เทคนิคด้านเหมืองข้อมูลนิยมใช้กับ การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทีเกี่ยวเนื่องกันเพื่อแก้ไขปัญหาใดปัญหาหนึ่ง เช่น การใช้เทคนิคเหมือง ข้อมูลในการประเมินความรู้ และหาความถนัดเพื่อพัฒนาศักยภาพของนักศึกษา เป็นต้น

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยใช้ข้อมูลตามหลักการเหมืองข้อมูล เพื่อหาความแตกต่างตามปีการศึกษา จากข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษาที่ได้รับจากกองบริการการศึกษา เพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งในการวางแผนการรับนักศึกษาตามรูปแบบต่างๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาข้อมูลการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการเหมืองข้อมูลด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio เพื่อหาความแตกต่างตามปีการศึกษา

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เทคนิคเหมืองข้อมูล (Data Mining)

Data Mining เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูล มาจากคำว่า เหมืองข้อมูล เป็นการค้นหาสิ่งที่มีประโยชน์จากฐานข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ เช่น ข้อมูลการซื้อขายสินค้าในซุปเปอร์มาร์เก็ตต่างๆ โดยข้อมูลเหล่านี้จะเก็บจากรายการสินค้าที่ลูกค้าซื้อในแต่ละครั้ง โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิค Data Mining แล้วจะได้สิ่งที่เป็นประโยชน์ เช่น ลูกค้าส่วนใหญ่ที่ซื้อเบียร์จะซื้อผ้าอ้อมด้วย เห็นว่าข้อมูลนี้เป็นข้อมูลที่ไม่เคยคิดว่ามีความสัมพันธ์กัน และเมื่อได้ความรู้นี้ก็นำเป็นออกโปรโมชันหรือช่วยในการจัดวางชั้นสินค้า หรือเป็นแนวทางในการสั่งซื้อสินค้าในซุปเปอร์มาร์เก็ตต่อไปได้ นอกจากนี้ Data Mining ยังมีเทคนิคในการประยุกต์ใช้งานได้ เช่น เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยข้อมูลที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน อยู่กลุ่มเดียวกัน และข้อมูลที่อยู่คนละกลุ่มจะมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก โดยคลัสเตอร์ มีหลายเทคนิค และ Clustering validity เป็นการวัดประสิทธิภาพของ Clustering เพื่อดูว่าเทคนิคใดสามารถทำให้การแบ่งกลุ่มมีประสิทธิภาพสูงที่สุด และควรจัดข้อมูลเป็นกี่กลุ่ม เทคนิคการจำแนกประเภทข้อมูล เป็นการนำข้อมูลเดิมที่มีคำตอบที่สนใจ สร้างเป็นโมเดล เพื่อหาคำตอบให้กับข้อมูลใหม่ การประมาณค่าข้อมูล (regression) การสร้างโมเดลและการวัดประสิทธิภาพของโมเดล โดยการดูค่าความแม่นยำว่า โมเดลใดให้ความแม่นยำในการทายข้อมูลได้ถูกมากที่สุด ดังนั้นหากข้อมูลใดที่มีขนาดใหญ่หรือมีจำนวนมาก Data Mining เป็นเทคนิคหนึ่งที่จะช่วยในการจัดการข้อมูลให้เป็นประโยชน์ได้ดี (เอกสิทธิ์, 2557)

ขันทอง และพิมรินทร์ (2565) ได้ทำวิจัย เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเลือกสมัครสาขาวิชาเรียนของนักศึกษาใหม่ โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยใช้ข้อมูลการสมัครเข้าศึกษาต่อของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามเป็นกรณีศึกษา ตามกรอบการทำเหมืองข้อมูลแบบ CRISP-DM ด้วยโปรแกรมเวก้า โดยใช้เทคนิคแบบจำลองการแบ่งกลุ่ม ด้วยขั้นตอนวิธีเคมีน เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มของผู้สมัคร และสร้างตัวแบบจำลองการหากฎความสัมพันธ์ ด้วยขั้นตอนวิธีอพริโอริ เพื่อหากฎความสัมพันธ์ของพฤติกรรม การเลือกสาขาวิชาเรียนของผู้สมัคร ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนการรับนักศึกษาและการประชาสัมพันธ์ในการรับนักศึกษาใหม่ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการพัฒนาระบบสนับสนุนการจัดการจัดการเรียนการสอนอื่นๆ ต่อไป

3.2 โปรแกรม RapidMiner Studio

RapidMiner Studio แรกเริ่มพัฒนาขึ้นจากบริษัทที่ชื่อว่า Rapid-I ในประเทศเยอรมนี และเมื่อช่วงปลายปี พ.ศ. 2556 และเปลี่ยนชื่อบริษัทจาก Rapid-I เป็น Rapid Miner แทนและย้ายสำนักงานใหญ่มาอยู่ประเทศสหรัฐอเมริกาสามารถดาวน์โหลดซอฟต์แวร์ Rapid Miner ได้จากเว็บไซต์ https://rapidminer.com/Data Mining โดยเอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดา (2557) กล่าวว่า RapidMiner Studio Educational เป็นซอฟต์แวร์ที่สามารถใช้งานฟรี ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่าย กรณีต้องการใช้งานเพื่อทดสอบการวิเคราะห์ข้อมูล การทำความสะอาดข้อมูล

(Data Cleansing) และการรายงานข้อมูลในรูปแบบต่างๆ เช่น ตาราง แผนภูมิ เป็นต้น และการทำงานของ Rapid - Miner เช่น 1) สามารถนำเข้าข้อมูลได้หลายลักษณะ เช่น การเชื่อมโยงจากฐานข้อมูลโดยตรงไฟล์ Excel เป็นต้น 2) สามารถแสดงข้อมูลในกราฟแบบต่างๆ 3) สามารถหากฎความสัมพันธ์ (Association Rules) การสร้างจาก Item ที่เกิดขึ้นโดยเทคนิคการหากฎความสัมพันธ์ 4) สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) การแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยข้อมูลที่มีลักษณะ และข้อมูลที่อยู่คนละกลุ่มจะมีลักษณะที่แตกต่างกันมากๆ เทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูล ได้แก่ K-Means, Agglomerative Clusstering เป็นต้น 5) สามารถจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) การนำข้อมูลเดิมที่มีคำตอบที่สนใจ คลาส (Class) มาสร้างเป็นโมเดล (Model) เพื่อหาคำตอบให้กับข้อมูลใหม่ (UnseenData) ได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตด้านประชากรที่ใช้ในการศึกษา

ข้อมูลของนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ระหว่างปีการศึกษา 2561 – 2564 จากสำนักส่งเสริมวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยแยกออกเป็นกลุ่มๆ ตามรายละเอียดการรับนักศึกษาประจำปีการศึกษาต่างๆ

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) ข้อมูลของนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ระหว่างปีการศึกษา 2561–2564 จากสำนักส่งเสริมวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

2) เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ซอฟต์แวร์ RapidMiner Studio ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ ที่นิยมใช้ในการทำเหมืองข้อมูล โดยมีจุดเด่นที่สามารถรองรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่ซ้ำซ้อนได้ดี และมีรูปแบบการแสดงผลที่หลากหลาย อีกทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลมีเครื่องมือในลักษณะกราฟฟิกช่วยในการดำเนินงานซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานได้เป็นอย่างมาก

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) นำข้อมูลนำเข้ารายปี 2561 - 2564 ทั้งหมดมาปรับฐานข้อมูลเพื่อเตรียมนำเข้าโปรแกรมวิเคราะห์ โดยทำการปรับฐานข้อมูลผ่าน โปรแกรม Microsoft Excel ตามจำนวนข้อมูลแผนรับนักศึกษารายปี 2561–2564 และสรุปรวมข้อมูลการรับนักศึกษารายปีการศึกษา 2561-2564 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการรับนักศึกษารายปีการศึกษา 2561-2564

ประเภทการรับสมัคร/ปีการศึกษา	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564
รอบรับตรง	770			
รอบ Portfolio	80	243	256	
รอบรับตรงอิสระ	700	363		
รอบโควต้าและโควต้าพิเศษ		979	838	
รอบทั่วไป			317	
รอบที่ 1 & 2				3,306
ยอดรวม	**1,550**	**1,585**	**1,411**	**3,306**

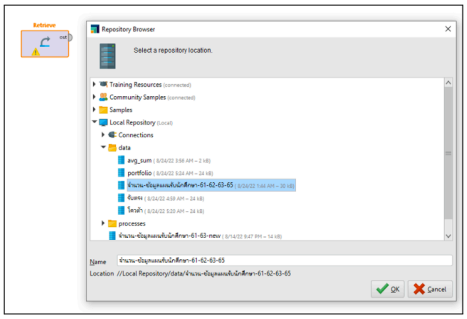
2) นำข้อมูลนำเข้ารายปี 2561 - 2564 ที่ผ่านการปรับฐานข้อมูลมาแล้ว นำเข้าโปรแกรม Rapid Minor เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแยกรายปี

3) แยกข้อมูลรายปี ออกเป็นรอบการรับนักศึกษา โดยแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ อาทิ รอบ Portfolio, รับตรง และรับอิสระ เป็นต้น

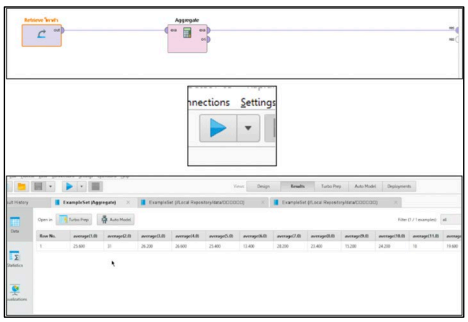
4) วิเคราะห์ผลรวมของแต่ละคณะ ของรอบนั้น ๆ จะได้ผลรวมของข้อมูล (Sum) แต่ละคณะ และได้ผลการวิเคราะห์ เป็นค่าเฉลี่ย (Avg) ค่าสูงสุด (Max) และค่าต่ำสุด (Min) ของแต่ละคณะ

5) ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะสามารถนำไปใช้ในการอ้างอิงการดูโควตาการรับของแต่ละคณะเพื่อการเข้าศึกษาต่อ

ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์แยกรายปีการศึกษานับตั้งแต่ปี 2561 ถึงปีการศึกษา 2564 โดยประมวลผลด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลผ่านโปรแกรม RapidMiner Studio ดังภาพที่ 1



(ก) การนำเข้าข้อมูลเพื่อใช้ประมวล



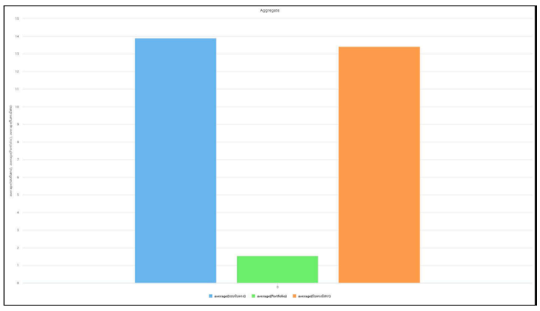
(ข) เชื่อมต่อความสัมพันธ์ของ Node / Process ข้อมูล

ภาพที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Rapid Minor

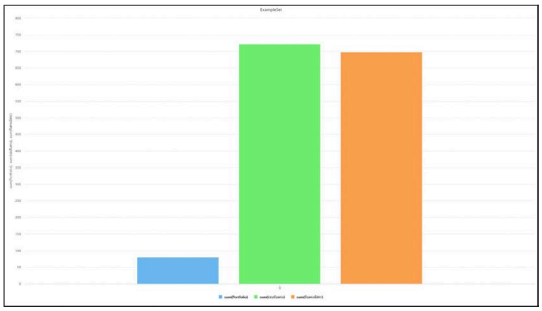
5. ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์และพิจารณาข้อมูล โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติจากข้อมูลของนักศึกษาที่เข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ระหว่างปีการศึกษา 2561 – 2564 จากสำนักส่งเสริมวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยประมวลผลด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลผ่านโปรแกรม RapidMiner Studio โดยเทคนิคการหากฎความสัมพันธ์ แบ่งเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้

ผลการดำเนินการปีการศึกษา 2561 จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินการการรับนักศึกษาในปีการศึกษา 2561 พบว่า ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบรับตรง 13-14 คน 2) รอบ Portfolio 1-2 คน และ 3) รอบรับตรงอิสระ 13-14 คน จะพบว่าค่าเฉลี่ยการรับนักศึกษาที่มากที่สุด จะอยู่ที่รอบการรับตรง และค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบรับตรงและรับ 770 คน 2) รอบ Portfolio 80 คน 3) รอบรับตรงอิสระ 700 คน ดังภาพที่ 2 และผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2561 แยกตามสาขาวิชา ดังภาพที่ 3

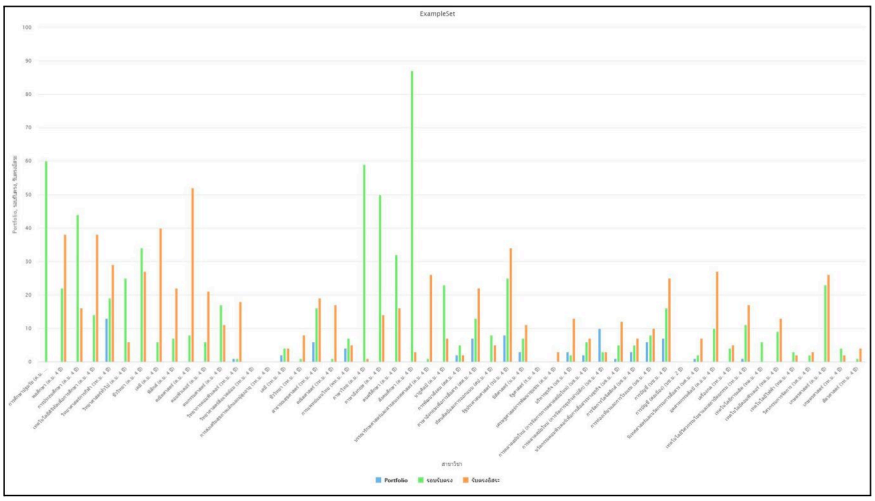


(ก) ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอ



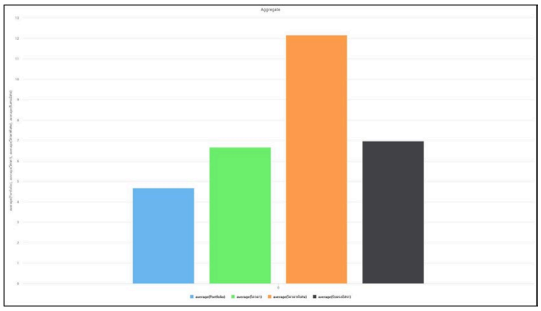
(ข) ค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ

ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2561

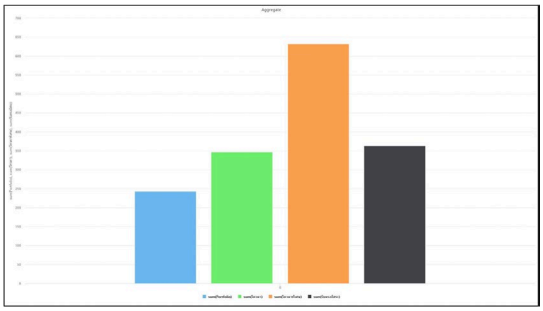


ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2561 แยกตามสาขาวิชา

ผลการดำเนินการปีการศึกษา 2562 จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินการการรับนักศึกษาในปีการศึกษา 2562พบว่า ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบ Portfolio 4-5 คน 2) รอบโควต้า 6-7 คน 3) รอบโควต้าพิเศษ 12-13 คน และ 4) รอบรับตรงอิสระ 7 คน จะพบว่าค่าเฉลี่ยการรับนักศึกษาที่มากที่สุด จะอยู่ที่รอบการโควต้าพิเศษ และค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบ Portfolio 243 คน 2) รอบโควต้าและโควต้าพิเศษ 979 คน 3) รอบรับตรงอิสระ 363 คน ดังภาพที่ 4 และผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2562 แยกตามสาขาวิชา ดังภาพที่ 5

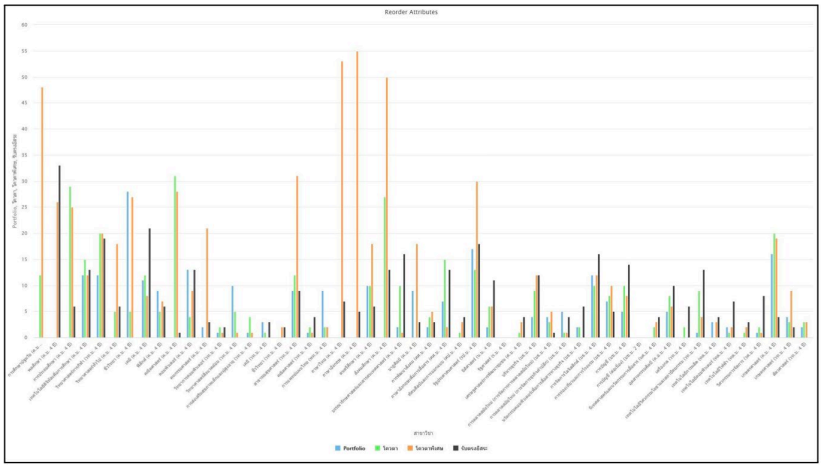


(ก) ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ



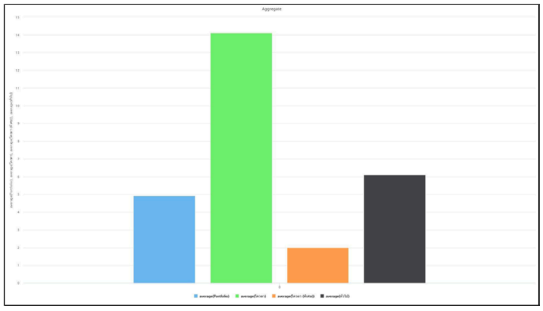
(ข) ค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ

ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2562

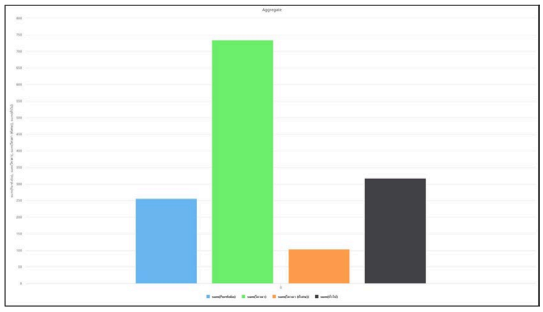


ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2562 แยกตามสาขาวิชา

ผลการดำเนินการปีการศึกษา 2563 จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินการการรับนักศึกษาในปีการศึกษา 2563พบว่า ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบ Portfolio 4-5 คน 2) รอบโควต้า 14 คน 3) รอบโควต้าพิเศษ 2 คน และ 4) รอบทั่วไป 6 คน จะพบว่าค่าเฉลี่ยการรับนักศึกษาที่มากที่สุด จะอยู่ที่รอบการโควต้า และค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบ Portfolio 256 คน 2) รอบโควต้าและโควต้าพิเศษ 838 คน 3) รอบรับตรงอิสระ 317 คน ดังภาพที่ 6 และผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2563 แยกตามสาขาวิชา ดังภาพที่ 7

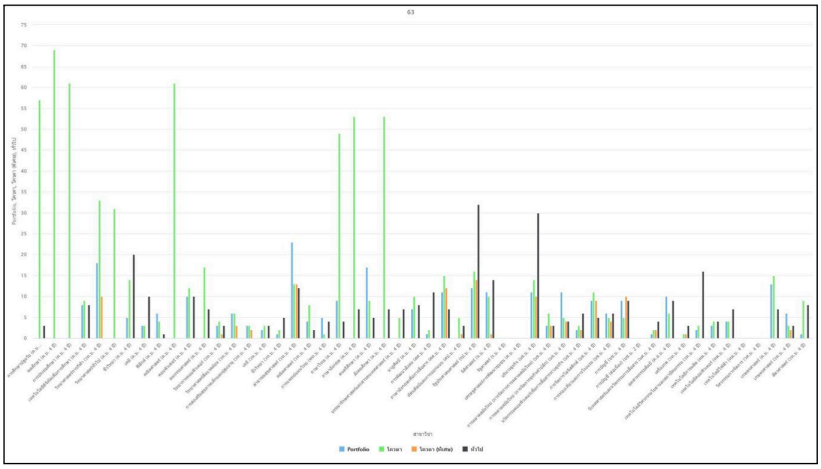


(ก) ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ



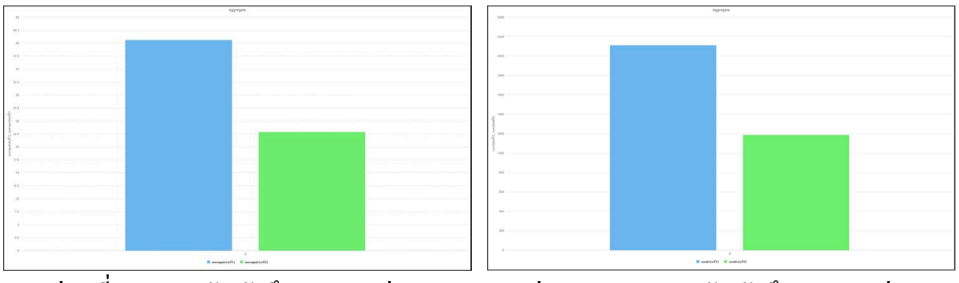
(ข) ค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ

ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2563



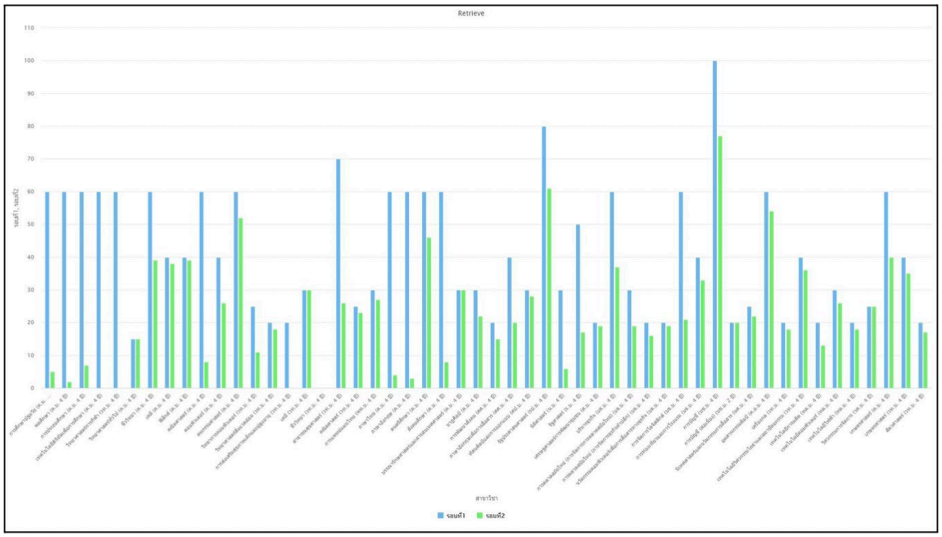
ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2563 แยกตามสาขาวิชา

ผลการดำเนินการปีการศึกษา 2564 จากการวิเคราะห์ผลการดำเนินการการรับนักศึกษาในปีการศึกษา 2564พบว่า ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบที่หนึ่ง 40-41 คน และ 2) รอบที่สอง 22-23 คน จะพบว่าค่าเฉลี่ยการรับนักศึกษาที่มากที่สุด จะอยู่ที่รอบที่หนึ่ง และค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของทั้ง 2 รอบ อยู่ที่ 3,306 คน ดังภาพที่ 8 และผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2564 แยกตามสาขาวิชา ดังภาพที่ 9



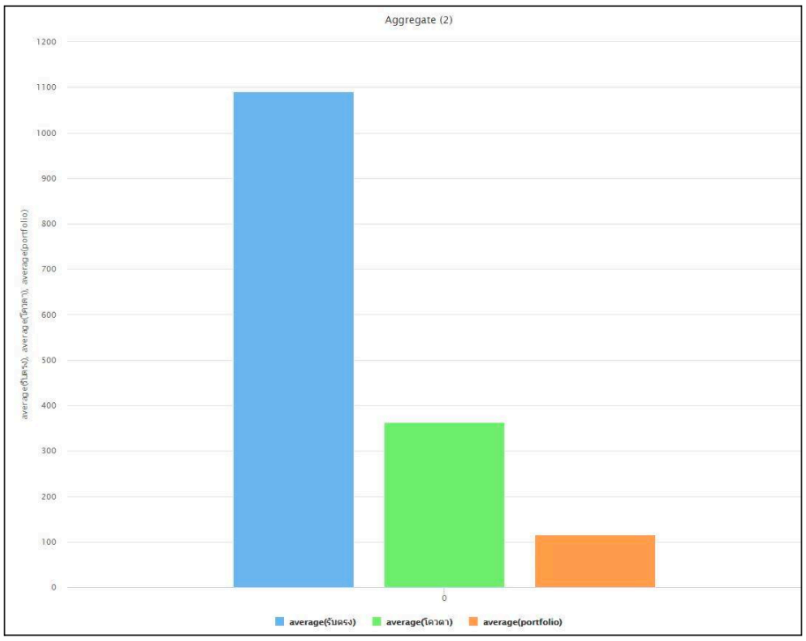
(ก) ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ (ข) ค่าผลรวมของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ

ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2564



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2564 แยกตามสาขาวิชา

เมื่อพิจารณาผลการดำเนินการรวมทั้ง 4 ปีการศึกษา พบว่า ค่าเฉลี่ยของการรับนักศึกษาของแต่ละรอบ 1) รอบรับตรง 1,091 คน 2) รอบโควต้า 363 คน และ 3) รอบ Portfolio 116 คน จะพบว่าค่าเฉลี่ยการรับนักศึกษาที่มากที่สุด จะอยู่ที่รอบรับตรง ดังภาพที่ 10 และมีผลรวมในการรับนักศึกษาแต่ละประเภทดังตารางที่ 2



ภาพที่ 10 ผลการวิเคราะห์การรับนักศึกษาปีการศึกษา 2561 – 2564

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลผลรวมการรับนักศึกษาของแต่ละประเภท

ประเภทการรับสมัคร/ปีการศึกษา	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563	ปี 2564	ผลรวม
รอบรับตรง	770				**770**
รอบ Portfolio	80	243	256		**579**
รอบรับตรงอิสระ	700	363			**1,063**
รอบโควต้าและโควต้าพิเศษ		979	838		**1,817**
รอบทั่วไป			317		**317**
รอบที่ 1 & 2				3,306	**3,306**
ยอดรวม	**1,550**	**1,585**	**1,411**	**3,306**	**7,852**

6. อภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยที่มีเป้าหมายเพื่อศึกษาข้อมูลการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการเหมืองข้อมูลด้วยโปรแกรม RapidMiner Studio เพื่อหาความแตกต่างตามปีการศึกษา จากข้อมูลพื้นฐานของนักศึกษาที่ได้รับจากกองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัย ราชภัฏสุรินทร์ และจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ในแต่ละปีการศึกษานับตั้งแต่ปีการศึกษา 2561 ถึงปีการศึกษา 2564 มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์มีวิธีในการรับนักศึกษาเข้าศึกษาต่อรวมทั้งสิ้น 8 รูปแบบคือ 1) รอบรับตรง 2) รอบ Portfolio 3) รอบรับตรงอิสระ 4) รอบโควต้า 5) รอบโควต้าพิเศษ 6) รอบทั่วไป 7) รอบที่หนึ่ง และ 8) รอบที่สอง โดยทั้ง 8 รูปแบบ เมื่อพิจารณาทุกปีการศึกษาพบว่า อันดับหนึ่งคือ รอบรับตรงมีจำนวน 1,091 คน อันดับสอง รอบโควต้า 363 คน และอันดับสาม รอบ Portfolio 116 คน เมื่อพิจารณารายคณะพบว่า ปี 2561 (ค.บ.) สังคมศึกษามียอดโควต้าสูงสุด ปี 2562 (ค.บ.) ภาษาอังกฤษมียอดโควตาสูงสุด ปี 2563 (ค.บ.) พลศึกษามียอดโควต้าสูงสุด ปี 2564 (บช.บ.) การบัญชีมียอด

โควตาสูงสุด สรุปได้ว่า ในแต่ละปีมีผู้สนใจเข้าศึกษาตามโควตาหลากหลายไม่ซ้ำคณะและสาขาวิชา สอดคล้องกับงานวิจัยของ ขันทอง และพิมรินทร์ (2565) ได้ทำวิจัย เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเลือกสมัครสาขาวิชาเรียนของนักศึกษาใหม่ โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล โดยใช้ข้อมูลการสมัครเข้าศึกษาต่อของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามเป็นกรณีศึกษา ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนการรับนักศึกษาและการประชาสัมพันธ์ในการรับนักศึกษาใหม่ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการพัฒนาระบบสนับสนุนการจัดการจัดการเรียนการสอนอื่น ๆ ต่อไป ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการวิเคราะห์ ส่งผลให้มหาวิทยาลัยมีความจำเป็นต้องใช้เกณฑ์การพิจารณาที่หลากหลายเพื่อให้สอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ที่ได้ตั้งไว้ โดยมีการปรับตามแผนยุทธศาสตร์ในการศึกษาสภาวการณ์และบริบทที่เปลี่ยนแปลงไปในโลกปัจจุบัน ที่มุ่งเน้นต่อประโยชน์ของนักศึกษาที่จะเข้าสู่รั้วมหาวิทยาลัย เพื่อพัฒนาบัณฑิตให้ตอบสนองต่อผู้ใช้บัณฑิต และมุ่งพัฒนามหาวิทยาลัยให้เป็น “มหาวิทยาลัยเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น” ให้ได้ต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

(1) มหาวิทยาลัยสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ รวมทั้งการเลือกแผนการเรียนที่เหมาะสมต่อกับรูปแบบการรับนักศึกษา เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพของการจัดการเรียนการสอนหรือใช้วางแผนนักศึกษาที่เข้าสมัครศึกษาต่อได้ต่อไป

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) การประมวลผลข้อมูลโดยวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการเหมืองข้อมูลด้วยโปรแกรม Rapid Miner ควรมีข้อมูลที่มีความจำเพาะและใช้จำนวนข้อมูลที่มีจำนวนมากพอ เพื่อให้การประมวลผลข้อมูลมีความแม่นยำ

(2) หากมีการเก็บแบบสอบถามปัจจัยในการเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัย และนำมาวิเคราะห์ร่วมจะสามารถทำให้เห็นภาพรวมของข้อมูลได้ลึกยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

กองนโยบายและแผน มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. (2564). *แผนยุทธศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ (พ.ศ. 2563 – 2565) ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2565*. สุรินทร์. 2564

ขันทอง และพิมรินทร์. (2565). การวิเคราะห์พฤติกรรมการเลือกสมัครสาขาวิชาเรียนของนักศึกษาใหม่ โดยใช้เทคนิคการเหมืองข้อมูล. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 2 สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร*. กำแพงเพชร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. (2565). *ประวัติความเป็นมา* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 15 กันยายน 2565, จาก: https://www.srru.ac.th/about/history.

เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดา. (2557). *การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้า ไมน์นิง เบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: เอเชีย ดิจิตอลการพิมพ์ จำกัด.

เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดา (2557). *Practical Data Mining with RapidMiner Studio 6.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอเชียดิจิตอลการพิมพ์.

Laokietkul, J. (2015). *Introduction to Data Mining.* Bankok : Chandrakasem Rajabhat University. (in Thai).

ความท้าทายในการจัดเก็บข้อมูลโดยการใช้เทคโนโลยีชีวมาตรกับมิติของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลปี 2562

THE CHALLENGES IN DATA COLLECTION USING BIOMETRIC TECHNOLOGY WITH DIMENSION OF THE PERSONAL DATA PROTECTION ACT 2019

สุพล พรหมมาพันธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: supon.ph@spu.ac.th
อำนาจ วังจีน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: amnart.va@spu.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยปัจจุบัน เทคโนโลยีสารสนเทศมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว การจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลมีหลายช่องทาง หลากหลายวัตถุประสงค์ โดยเฉพาะการจัดเก็บข้อมูลโดยการใช้เทคโนโลยีชีวมาตร ได้แก่ การจัดเก็บลายพิมพ์นิ้วมือ ภาพถ่าย ฝ่ามือ ม่านตา ใบหน้า เสียงพูด ลายเซ็น ดีเอ็นเอ เป็นต้น ดังนั้น จึงเป็นความท้าทายอย่างมาก และอาจมีความเสี่ยงต่อการละเมิดสิทธิส่วนบุคคล เพราะว่าพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลปี 2562 ได้มีผลบังคับใช้แล้ว เมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2565 บทความนี้มีวัตถุประสงค์ คือ (1) เพื่อศึกษาถึงวัตถุประสงค์ในการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลโดยการใช้เทคโนโลยีชีวมาตร, (2) เพื่อวิเคราะห์ถึงความท้าทายของการใช้เทคโนโลยีชีวมาตรกับมิติของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ปี พ.ศ. 2562, (3) เพื่อให้บุคคลทั่วไปรู้จักวิธีการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ, และ (4) เพื่อป้องกันบุคคลและองค์กรไม่ให้กระทำการผิดกฎหมาย หลังจากได้ทำการศึกษาวิเคราะห์แล้ว สรุปว่า หน่วยงานของรัฐบาล และภาคธุรกิจควรจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลเฉพาะเท่าที่จำเป็นเท่านั้น พร้อมทั้งควรมีมาตรการการรักษาความมั่นคงปลอดภัยที่ดีด้วย

คำสำคัญ: ความเป็นส่วนตัว, ข้อมูลส่วนบุคคล, เทคโนโลยีชีวมาตร, ความมั่นคงปลอดภัย

ABSTRACT

Because of the present Information Technology has changed rapidly. There are many ways to collect Personal Information, various purposes especially for data storage using Biometric Technology, including storing fingerprints, photographs, palms, iris, faces, speech, signatures, DNA, etc. So it's a huge challenge of government

agencies and businesses, and may be at risk of infringing on privacy rights. Because, the Personal Data Protection Act of 2019 came into effect on June 1, 2022. The objectives are: (1) To study the purpose of collecting personal data by using Biometric Technology, (2) To analyze the challenges of using Biometric Technology with dimension of the Personal Data Protection Act of 2019, (3) To make the public know how to protect personal information and information security, and (4) To prevent individuals and organizations from committing illegal acts. After analyzing the study, it was concluded that government agencies and the business sector should only store personal data as needed and should have good security measures as well.

Keywords: Privacy, Personal Data, Biometric Technology**,** Security

1. บทนำ

เนื่องด้วยการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลในปัจจุบันมีการเก็บข้อมูลกันผ่านทางอุปกรณ์หลายช่องทาง เช่น สมาร์ทโฟน, คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล, กล้องวงจรปิด, เซ็นเซอร์, เครื่องสแกน เป็นต้น และมีหลากหลายวัตถุประสงค์ด้วยกัน เช่น หน่วยงานรัฐบาล มีการจัดเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการสนับสนุนการขับเคลื่อนทางเศรษฐกิจ เช่น การจัดทำบัตรสวัสดิการแห่งรัฐ เป็นต้น ส่วนภาคธุรกิจ มีการจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจดำเนินธุรกิจ เช่น การอนุมัติสินเชื่อ เป็นต้น **ข้อมูลส่วนบุคคล** คือ ข้อมูลเกี่ยวกับบุคคลที่สามารถระบุตัวบุคคลนั้นได้ ทั้งทางตรงหรือทางอ้อม แต่จะไม่นับรวมข้อมูลของผู้ที่เสียชีวิตไปแล้ว ข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ ชื่อ-นามสกุล หรือชื่อเล่น / เลขประจำตัวประชาชน, เลขหนังสือเดินทาง, เลขบัตรประกันสังคม, เลขใบอนุญาตขับขี่, เลขประจำตัวผู้เสียภาษี, เลขบัญชีธนาคาร, เลขบัตรเครดิต, ที่อยู่, อีเมล์, เลขโทรศัพท์ เป็นต้น ในเว็บไซต์วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี (2565) ได้แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลส่วนบุคคลมักเป็นข้อมูลที่ไม่ได้ใช้ในการแยกแยะอัตลักษณ์ แต่หากนำมาใช้รวมกันก็อาจชี้เฉพาะตัวบุคคลได้เช่นกัน ได้แก่ ประเทศ รัฐ หรือเมืองที่มีถิ่นฐานพำนักอยู่ อายุ เพศหรือเชื้อชาติ สถานศึกษา หรือสถานที่ทำงาน เงินเดือนสินจ้าง หรือตำแหน่งหน้าที่การทำงาน ประวัติอาชญากรรม เมื่อบุคคลไม่ประสงค์ออกนาม การกล่าวถึงบุคคลนั้น มักจะประกอบด้วยข้อมูลข้างต้นสองหรือสามประการ เช่น **"ผู้ชายอายุ 34 ปีที่ทำงานในห้างสรรพสินค้า X"** ลักษณะเช่นนี้ เป็นการเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลบางส่วน แต่ไม่ถึงกับทำให้สาธารณชนแยกแยะตัวบุคคลที่ถูกกล่าวถึงได้ว่าเป็นใคร อย่างไรก็ตามหากมีข้อมูลมากขึ้นอาจทำให้แยกแยะตัวบุคคลได้ โดยเฉพาะในคดีอาชญากรรม จึงได้มีการเสนอหลักฐานข้อมูลหลายประการที่บ่งบอกถึงตัวอาชญากร ในปี ค.ศ.1990 ได้มีการแสดงให้เห็นว่า ประชาชนชาวอเมริกัน 87% สามารถถูกระบุเฉพาะเจาะจงได้ด้วยเพียง เพศ รหัสไปรษณีย์ และวันเกิด

เทคโนโลยีชีวมาตร (Biometric Technology) คือ แนวคิดการนำเอาเทคโนโลยีด้านชีวภาพทางการแพทย์และเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์มาบูรณาการเข้าด้วยกัน เพื่อใช้กำหนดหรือระบุคุณลักษณะเฉพาะส่วนบุคคลทั้งด้านกายภาพ และพฤติกรรม ได้แก่ ลายพิมพ์นิ้วมือ ภาพถ่าย ฝ่ามือ ม่านตา ใบหน้า เสียงพูด ลายเซ็น ดีเอ็นเอ เป็นต้น เพื่อใช้ประโยชน์ในการจัดเก็บข้อมูลกิจกรรมหลายอย่าง เช่น การทำบัตรประจำตัวประชาชน การทำหนังสือเดินทาง เป็นต้น

พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลปี พ.ศ. 2562 ได้ประกาศใช้ในราชกิจจานุเบกษาเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2562 และมีผลบังคับใช้โดยสมบูรณ์ เมื่อวันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2565 เหตุผลในการประกาศใช้พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลนั้น เป็นมิติที่ท้าทายอย่างยิ่ง เนื่องจากปัจจุบันมีการล่วงละเมิดสิทธิ

ความเป็นส่วนตัวของข้อมูลส่วนบุคคลเป็นจำนวนมาก จนสร้างความเดือดร้อนรำคาญหรือความเสียหายให้แก่เจ้าของข้อมูลส่วนบุคคล ประกอบกับความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้การจัดเก็บรวบรวม ใช้ หรือเปิดเผยข้อมูลส่วนบุคคลอันเป็นการล่วงละเมิดดังกล่าว ทำได้โดยง่าย สะดวก และรวดเร็ว ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจโดยรวม สมควรกำหนดให้มีกฎหมายว่าด้วยการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลเป็นการทั่วไปขึ้น เพื่อกำหนดหลักเกณฑ์ กลไก หรือมาตรการกำกับดูแลเกี่ยวกับการให้ความคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลที่เป็นหลักการทั่วไป สำหรับข้อมูลชีวมาตรนี้ นายแพทย์สุธี ทุวิรัตน์ (2565) ได้กล่าวถึงความหมายของ **"ชีวมาตร"** เรื่อง **เทคโนโลยีระบุตัวตนว่า "ชีวมาตร" น่ากลัวหรือไม่** โดยกล่าวเอาไว้ว่า **"ชีวมาตร"** หรือไบโอเมทริกซ์ คือ ข้อมูลส่วนบุคคลที่เป็นเทคโนโลยีในการระบุตัวตน ได้แก่ 1. ภาพถ่าย 2. ลายนิ้วมือ และ 3. ม่านตา ซึ่ง **"หน้าตา"** เปลี่ยนได้ แต่ช้าเป็นเหตุผลให้ต้องทำบัตรประชาชนใหม่ทุก 5 ปี ทว่า **"ลายนิ้วมือ"** คือเซลล์ที่ตายของผิวหนังจึงไม่เปลี่ยนแปลง ส่วน **"ม่านตา"** เป็นอวัยวะที่ไม่ได้บอกแค่เพียงลักษณะ แต่ยังบอกถึงสุขภาพ พฤติกรรม และโรคทางพันธุกรรมได้หลายโรคอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาถึงวัตถุประสงค์ในการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลโดยการใช้เทคโนโลยีชีวมาตร

(2) เพื่อวิเคราะห์ถึงความท้าทายของเทคโนโลยีชีวมาตรกับมิติของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ปี พ.ศ. 2562

(3) เพื่อให้บุคคลทั่วไปรู้จักวิธีการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคลและความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ

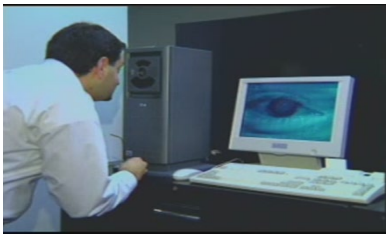
(4) เพื่อป้องกันบุคคลและองค์กรไม่ให้กระทำการผิดกฎหมาย

3. หัวข้อ (1) วัตถุประสงค์ในการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลโดยการใช้เทคโนโลยีชีวมาตร

ในการจัดเก็บข้อมูลด้วยวิธีนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อก่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด และเพื่อใช้ประโยชน์ในการยืนยันตัวตน เช่น (1) เพื่อการขอรับบริการจากภาครัฐ (2) เพื่อทำหนังสือเดินทาง (3) เพื่อประโยชน์ทางธุรกิจ เป็นต้น การจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคล โดยการใช้เทคโนโลยีชีวมาตรนี้ ควรจัดเก็บเฉพาะเท่าที่มีความจำเป็นเท่านั้น ไม่ควรจัดเก็บแบบพร่ำเพรื่อ เช่น ควรจัดเก็บเฉาะภาพถ่าย ลายพิมพ์นิ้วมือเท่านั้น ไม่ควรจัดเก็บม่านตา และ DNA เพราะว่าอาจจะเข้าข่ายการละเมิดความเป็นส่วนตัว หรือสิทธิส่วนบุคคลได้ สำหรับการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลในประเทศไทยนั้น มีตราไว้หลายแห่ง เช่น ในรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พุทธศักราช 2560 มาตรา 32 ระบุว่า "บุคคลย่อมมีสิทธิในความเป็นอยู่ส่วนตัว เกียรติยศ ชื่อเสียง และครอบครัว การกระทำอันเป็นการละเมิดหรือกระทบต่อสิทธิของบุคคลตามวรรคหนึ่ง หรือการนำข้อมูลส่วนบุคคลไปใช้ประโยชน์ไม่ว่าในทางใด ๆ จะกระทำมิได้ เว้นแต่โดยอาศัยอำนาจตามบทบัญญัติแห่งกฎหมายที่ตราขึ้นเพียงเท่าที่จำเป็นเพื่อประโยชน์สาธารณะ" สำหรับเทคโนโลยีชีวมาตร ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีหลายประเภทในหนังสือของ Gary B. Shelly (2020) ได้เขียนเอาไว้ ดังนี้ คือ

(1) เครื่องสแกนลายพิมพ์นิ้วมือ (Fingerprint Scanner) ในปัจจุบันมีการนำเอาเครื่องสแกนลายพิมพ์นิ้วมือเข้าไปใช้กันเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเกี่ยวกับเรื่องการชำระเงิน ธุรกิจขนาดเล็ก ร้านขายของชำ และร้านขายปลีก เป็นต้น ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร (2565) นักวิจัยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค) กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วการสแกนลายนิ้วมือ อาจแบ่งได้ 3 ลักษณะได้แก่ เซ็นเซอร์ประจุไฟฟ้า เซ็นเซอร์อุณภูมิ และเซ็นเซอร์แสง เทคโนโลยีสองแบบแรกผู้ใช้ต้องแตะไปที่เซ็นเซอร์โดยตรง ทำให้อายุการใช้งานสั้น

และมีปัญหาเรื่องการบำรุงรักษา โดยในต่างประเทศที่มีอากาศหนาวจะเกิดไฟฟ้าสถิตทำลายเซ็นเซอร์ได้ ขณะที่ระบบแสงจะทนกว่าและมีคุณสมบัติรวมของเทคโนโลยีอื่นมาไว้ด้วยหลักการทำงานของเซ็นเซอร์แสง คือ การสะท้อนกลับหมดของแสงด้วยการอาศัยแสงสีแดงส่องลายนิ้วมือที่วางอยู่บนเลนส์สะท้อนกลับตัวหัวเซ็นเซอร์เช่นเดียวกับการใช้นิ้วจับแก้วที่มีน้ำอยู่ภายใน ซึ่งการสะท้อนของแสง ทำให้เรามองลายนิ้วมือได้อย่างชัดเจนและมีผลสรุปทางวิทยาศาสตร์กล่าวว่า มนุษย์ชาติจำนวน 600 ล้านคน เมื่อผ่านมาเป็นระยะเวลา 300 ปี จะมีโอกาสที่ลายนิ้วมือซ้ำกันเพียง 1 คู่ ในส่วนของทารกเมื่ออยู่ในครรภ์มารดาเป็นเวลา 7 เดือนก็มีลายนิ้วมือเป็นของตัวเอง ครั้นเมื่อโตใหญ่ขึ้นเป็นผู้ใหญ่ลายนิ้วมือก็ไม่ได้เปลี่ยนแปลง



รูปภาพที่ 1 และ 2 เครื่องสแกนลายนิ้วมือตรวจสอบการพิสูจน์ตัวตนของนักท่องเที่ยว การตรวจจับใบหน้า การสแกนลาย พิมพ์นิ้วมือ และการสแกนม่านตา (Iris) เพื่อการทำธุรกรรมด้านการเงิน เช่น บัตร ATM (Gary B. Shelly 2020: 567)

(2) ระบบเครื่องจดจำใบหน้า (A Face Recognition Systems) โดยระบบนี้จะดึงรูปภาพของใบหน้า และทำการเปรียบเทียบกับรูปภาพจริงของผู้ใช้ที่ถูกต้องตามกฎหมาย ระบบการจดจำใบหน้านี้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เพื่อรักษาความปลอดภัยของบุคคลผู้ที่เดินเข้าออกในห้องทำงาน, การดำเนินการกับผู้กระทำผิดทางกฎหมาย, การตรวจตรารักษาความปลอดภัย และการใช้การจดจำใบหน้าของบุคคลที่ผ่านเข้าออกตามสนามบินเพื่อป้องกันความปลอดภัย เทคโนโลยีชนิดนี้มีความชาญฉลาดมาก มันสามารถที่จะจดจำคนได้ทั้งคนที่สวมแว่นตา และไม่ได้สวมแว่นตา คนที่ไปทำศัลยกรรมตกแต่งใบหน้า หรือคนที่สวมใส่เครื่องประดับ และแม้กระทั่งคนที่ปรับเปลี่ยนทรงผมใหม่ หรือใส่ วิกผมปลอมก็ตาม

(3) ระบบการจดจำม่านตา (Iris Recognition System) เป็นระบบรักษาความปลอดภัยที่มีประสิทธิภาพสูงมาก โดยจะมีกล้องสำหรับถ่ายรูปม่านตาของคน และอ่านจดจำบันทึกเปรียบเทียบรูปแบบของม่านตาที่ถูกจัดเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกับการพิมพ์ลายนิ้วมือ ระบบนี้ส่วนใหญ่มักใช้ในการรักษาความปลอดภัยในหน่วยงานของรัฐบาล เช่น ในกองทัพ รวมถึงสถาบันทางด้านการเงิน ในมลรัฐเท็กซัสมีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการทำบัตร ATM ให้กับลูกค้าและสามารถเบิกถอนเงินสดได้อย่างรวดเร็ว

4. หัวข้อ (2) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ถึงความท้าทายของเทคโนโลยีชีวมาตรกับมิติของพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ปี 2562

ในการจัดเก็บบันทึกข้อมูลส่วนบุคคล หรือข้อมูลส่วนตัวด้วยเทคโนโลยีชีวมาตรนั้น นับว่าเป็นความท้าทายอย่างยิ่ง เพราะว่า อาจมีความเสี่ยงในการละเมิดสิทธิส่วนบุคคล และมีข้อมูลบางชนิดเป็นข้อมูลที่อ่อนไหว อุดมธิปก ไพรเกษตร (2565) ได้กล่าวไว้ว่า ข้อมูลส่วนบุคคลที่มีความอ่อนไหว มีปรากฏในมาตรา 6 ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อชาติ เผ่าพันธุ์ ความคิดเห็นทางการเมือง ความเชื่อในลัทธิ ศาสนา หรือ ปรัชญา พฤติกรรมทางเพศ

ประวัติอาชญากรรม ข้อมูลสุขภาพ ความพิการ ข้อมูลสหภาพแรงงาน ข้อมูลพันธุกรรม ข้อมูลชีวภาพ หรือข้อมูลอื่นใดที่คณะกรรมการประกาศกำหนด บุคคลที่เกี่ยวข้องกับกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ได้แก่ (1) เจ้าของข้อมูลส่วนบุคคล, (2) ผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคล, (3) ผู้ประมวลผลข้อมูลส่วนบุคค, และ (4) เจ้าหน้าที่คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล

ด้านนายแพทย์สุธี ทุวิรัตน์ ได้เปิดเผยกับ **"ฐานเศรษฐกิจ"** ว่ากรณีธนาคารแห่งประเทศไทย (ธปท.) กำลังผลักดันให้มีการใช้ระบบการพิสูจน์และยืนยันตัวตนทางดิจิทัล (Digital ID) โดยการนำเอาเทคโนโลยีชีวมาตร เช่น การจดจำใบหน้า ลายนิ้วมือ หรือม่านตา มาใช้ ในการพิสูจน์ยืนยันตัวบุคคลในการทำธุรกรรมทางการเงิน กำลังส่งผลกระทบต่อเงินฝากธนาคารคนไทย และมีโอกาสถูกแฮกเกอร์สวมรอยถอนหรือสั่งโอนไปจนเกลี้ยงบัญชีโดยไม่รู้ตัว ทั้งยังไม่สามารถที่จะเรียกร้องความรับผิดชอบจากธนาคารได้ ปัจจุบันมีการบังคับเก็บข้อมูลชีวมาตรประชาชน ได้แก่ ภาพถ่ายใบหน้า ลายนิ้วมือ 10 นิ้ว โดยหน่วยงานรัฐ เช่น การทำบัตรประชาชน หนังสือเดินทาง ลงทะเบียนซิมมือถือ เป็นต้น

บทความของสุพล พรหมมาพันธุ์ (2563) เขียนว่า ในเวทีเสวนาเมื่อวันศุกร์ที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ.2562 เวลา 13.30.16.30 น. สมาคมความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ และคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ร่วมกันจัดเสวนาประชาชน เรื่อง **"การเก็บข้อมูลชีวมาตร (Biometrics) ของหน่วยงานรัฐกับการละเมิดสิทธิส่วนบุคคลและผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศ"** โดยผู้ร่วมเสวนา เช่น อาจารย์ปริญญา หอมอเนก ประธานและผู้ก่อตั้ง, ACIS Professional Center Co., Ltd. (ACIS), นพ.สุธี ทุวิรัตน์ กรรมการสมาคมความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศ, พ.ต.อ.ญาณพล ยั่งยืน ณ ห้องพัชรกิติยาภา อาคารเฉลิมพระบารมี 50 ปี ซอยศูนย์วิจัย ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ กรุงเทพฯ อาจารย์ปริญญา หอมอเนก (2562) กล่าวว่า ในประเทศไทย พระราชบัญญัติการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ปี 2562 ประกาศใช้แล้ว เมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ.2562 ถ้าเป็นข้อมูลอีเมล, Facebook รั่วไหลยังสามารถแก้ไขได้ด้วยการเปลี่ยน Password แต่ถ้าเป็นข้อมูลชีวมาตรเหล่านี้รั่วไหลแล้วจะทำอย่างไร เช่น ลายพิมพ์นิ้วมือ ฝ่ามือ ใบหน้า เรตินา ม่านตา (Iris) ลายเซ็น ดีเอ็นเอ เสียง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้รั่วไหลแล้วไม่สามารถนำกลับมาได้ แก้ไขได้ยากอีกด้วย

รูปภาพที่ 3 การเสวนาประชาชน เรื่อง "การเก็บข้อมูลชีวมาตร (Biometrics) ของหน่วยงานรัฐกับการละเมิดสิทธิส่วนบุคคลและผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศ" (https://www.spu.ac.th/activities: 2019)

นายแพทย์สุธี ทุวิรัตน์ กล่าวว่า มี 2 เรื่องหลัก คือ **(1) หนังสือเดินทาง (Passport)** รุ่นใหม่ของประเทศไทย โดยกระทรวงการต่างประเทศ ซึ่งแต่เดิมมีการเก็บข้อมูลทั้งภาพถ่าย และลายพิมพ์นิ้วมือสิบนิ้ว แต่ต่อไปนี้จะมีการเก็บข้อมูลชีวมาตรม่านตา (Iris) ด้วย ซึ่งทางกระทรวงฯ ได้ให้เหตุผลว่า การเก็บข้อมูลชีวมาตรดังกล่าวเป็นคุณลักษณะความปลอดภัยสูงสุดในการป้องกันการปลอมแปลงหนังสือเดินทาง ซึ่งแตกต่างจากประเทศอื่น เช่น สหรัฐอเมริกาเก็บเฉพาะข้อมูลภาพถ่ายอย่างเดียว ไม่ให้เก็บลายพิมพ์นิ้วมือ ในสหภาพยุโรป เก็บเฉพาะภาพถ่าย

และลายพิมพ์นิ้วมือเพียง 2 นิ้ว เช่น ประเทศเยอรมันนี มีการเก็บม่านตา ส่วนประเทศเนเธอร์แลนด์เก็บลายพิมพ์นิ้วมือ เป็นต้น **(2) การลงทะเบียนซิมโทรศัพท์ด้วยวิธีอัตลักษณ์** คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) มีนโยบายการให้ลงทะเบียนซิมโทรศัพท์ทั้งการตรวจสอบใบหน้า และสแกนลายพิมพ์นิ้วมือทั่วประเทศ เมื่อเก็บข้อมูลเหล่านี้ไปแล้ว มั่นใจได้อย่างไรว่าข้อมูลไม่รั่วไหล แม้กระทั่งข้อมูลบัตรประชาชนของบุคคลสำคัญหลายคนถูกนำไปลงทะเบียนซ้ำกันหลายครั้ง เคยมีกรณีศึกษาตัวอย่างเรื่องการละเมิดข้อมูลส่วนบุคคล 2 เรื่อง คือ **กรณีแรก** เว็บไซต์ The standard (2565) รายงานว่า สายการบินบริติช แอร์เวย์ ในเครือบริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล แอร์ไลน์ส กรุ๊ป (IAG) ถูกสำนักงานคณะกรรมาธิการข้อมูลของสหราชอาณาจักร (ICO) ลงโทษปรับเงินเป็นจำนวน 183.39 ล้านปอนด์ (ประมาณ 7,069,820,000 บาท) สืบเนื่องจากกรณีการรั่วไหลของข้อมูลทางการเงิน และข้อมูลลูกค้า **กรณีที่สอง** หนังสือพิมพ์โพสต์ทุเดย์ (Post Today) (2565). รายงานว่า โรงแรม แมริออท (Marriot) อินเตอร์เนชั่นแนล เครือธุรกิจโรงแรมรายใหญ่ที่สุดในโลก โดนแฮ็กเกอร์เจาะระบบล้วงข้อมูลลูกค้า 500 ล้านคน นับตั้งแต่ปี 2014 และอาจต้องจ่ายค่าปรับสูงถึง 200 ล้านดอลลาร์ ท้ายสุด นพ.สุธี ทุวิรัตน์ ได้มีข้อเสนอแนะต่อทางรัฐบาลดังนี้ คือ (1) รัฐควรจะหลีกเลี่ยงการบังคับเก็บข้อมูลชีวมาตรของประชาชน เก็บเท่าที่จำเป็นจริงๆ (2) รัฐควรจะต้องกำกับดูแลมาตรฐานการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของข้อมูลชีวมาตร อย่างมีธรรมาภิบาลเปิดเผย โปร่งใส (3) รัฐไม่ควรจะยอมให้เอกชน เข้ามาบริหารจัดการฐานข้อมูลชีวมาตร และ (4) รัฐต้องมีมาตรการเยียวยาแก้ไขเจ้าของข้อมูลที่เกิดการรั่วไหล และได้รับความเสียหาย

สำหรับเรื่องการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลนี้ มีต้นแบบมาจากกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล สิทธิของข้อมูลส่วนบุคคลของสหภาพยุโรป ซึ่งได้มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ในรายงานวิจัยของณฐกร และคณะ (2565) รายงานว่า สำหรับลักษณะของบันทึกตามกฎหมายต่างประเทศมีปรากฏอยู่ในกฎหมายของสหภาพยุโรป (European Union หรือ EU) ที่เรียกว่า GDPR (General Data Protection Regulation) เป็นกฎระเบียบที่ว่าด้วยการคุ้มครองบุคคลเกี่ยวกับการประมวลผลข้อมูลส่วนบุคคล และอิสระของการโอนข้อมูลข้ามพรมแดน ซึ่งบัญญัติรายละเอียดของบันทึกอยู่ในมาตรา 30 (1) ว่า “ผู้ควบคุมและตัวแทนของผู้ควบคุมมีหน้าที่เก็บรักษาบันทึกกิจกรรมการประมวลผลอันประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้ (A) ชื่อและข้อมูลที่ใช้ติดต่อกับผู้ควบคุมข้อมูล ตัวแทนของผู้ควบคุม และเจ้าหน้าที่คุ้มครองข้อมูล (B) วัตถุประสงค์ของการประมวลผล (C) ประเภทของข้อมูลส่วนบุคคลและเจ้าของข้อมูล (D) ประเภทของผู้รับหรืออาจได้รับข้อมูลส่วนบุคคล (E) มาตรการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลที่โอนไปนอกสหภาพยุโรปหรือองค์กรระหว่างประเทศ (F) ระยะเวลาสำหรับเก็บรักษาข้อมูลส่วนบุคคลแต่ละประเภท และ (G) มาตรการรักษาความปลอดภัยแก่ข้อมูลส่วนบุคคล”

บทความวิจัยของอัจจิมา มณฑาพันธุ์ (2565) เรื่อง **“การวิเคราะห์ เปรียบเทียบการระบุตัวตน โดยการใช้ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของร่างกาย” รายงานว่า** เนื่องจากชีวมาตรเป็นสิ่งที่ติดมากับบุคคลตั้งแต่เกิดยากที่จะปลอมแปลง และจากการศึกษาข้อมูล วิเคราะห์เปรียบเทียบชีวมาตรที่เป็น ลักษณะเฉพาะทางกายภาพจำนวน 9 ประเภท ได้แก่ ลายนิ้วมือ ใบหน้า ม่านตา จอประสาทตา จมูก ใบหู ลายฝ่ามือ สารพันธุกรรม และคลื่นสมอง ทำให้สามารถ สรุปข้อดีและข้อเสียของการระบุตัวตนโดยการใช้ลักษณะเฉพาะทางกายภาพแต่ละประเภทได้ เช่น ข้อดีของลายนิ้วมือคือลายนิ้วมือจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตั้งแต่แรกเกิด จนถึงกระทั่งวันตาย แต่อาจมีการเปลี่ยนขนาดตามขนาดร่างกาย ลายนิ้วมือมีรูปแบบเฉพาะในแต่ละบุคคลจึงเป็นคุณสมบัติที่ สำคัญในการระบุตัวตนได้เป็นอย่างดี

ในบทความวิจัยของบรรเจิด สิงคะเนติ และคณะ (2565) เรื่อง **"กรณีการถ่ายภาพของผู้อื่นโดยผู้ที่ถูกถ่ายภาพนั้นไม่ได้ให้ความยินยอมและ นำไปพิมพ์เผยแพร่"** รายงานว่า กรณีสื่อมวลชนถ่ายภาพผู้ที่ได้รับความเสียหายในคดีล่วงละเมิดทางเพศ หรือใช้กล้องที่มีเลนส์ซูมภาพบุคคลอื่นให้เห็นใบหน้าของบุคคลนั้นในระยะใกล้ชิด แล้วนำไปตีพิมพ์ เผยแพร่ในสื่อสิ่งพิมพ์ หรือกรณีบุคคลคอยติดตามถ่ายภาพบุคคลอื่นในลักษณะคุกคาม (ปาปาราซี) โดยบุคคลผู้ถูกถ่ายภาพนั้นไม่ได้ให้ความยินยอม ซึ่งการกระทำดังกล่าวย่อมก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้เสียหายในคดีล่วงละเมิดทางเพศ หรือก่อให้เกิดความเดือนร้อนรำคาญแก่ผู้ถูกถ่ายภาพ และอาจก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยแก่ชีวิตร่างกายของผู้ถูกถ่ายภาพนั้นอีกด้วย

5. หัวข้อ (3). เพื่อให้บุคคลทั่วไปรู้จักวิธีการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคล และความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ

สำหรับวิธีการปกป้องข้อมูลส่วนบุคคล สามารถทำได้ คือ **(1) การเข้ารหัสลับ (Encryption)** หรือรหัสผ่าน ซึ่งเกี่ยวข้องกับทฤษฎีของคณิตศาสตร์ ในการถ่ายโอนข้อมูลดิจิทัลถึงกัน และมีการแปลงรหัส มีการถอดรหัส เพื่อสร้างความความปลอดภัยให้เกิดขึ้นในระบบ เพื่อป้องไม่ให้ผู้อื่นสามารถล่วงรู้ได้ **(2) ด่านกันบุกรุกหรือไฟร์วอลล์ (Fire Walls)** เป็นซอฟต์แวร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นทฤษฎีของการควบคุมความปลอดภัยบนอินเทอร์เน็ต และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Security Networks Software) ซอฟต์แวร์ชนิดนี้ ทำหน้าที่ในการตรวจสอบ และดูแลสัญญาณจราจรของการส่งข้อมูลบนเครือข่าย จะอนุญาตให้เฉพาะผู้มีสิทธิ์เท่านั้นเข้ามาใช้งานในเครือข่ายได้ **(3) การสำรองแฟ้มข้อมูล (Backup Files)** การสำรองแฟ้มข้อมูล เป็นการป้องกันแฟ้มข้อมูลเกิดการสูญเสียหรือสูญหาย ได้แก่การทำสำเนาไว้หลายๆ ชุด เมื่อต้นฉบับเสียหาย สามารถใช้ชุดสำรองที่จัดทำไว้ได้

6. หัวข้อ (4). เพื่อป้องกันบุคคลและองค์กรไม่ให้กระทำการผิดกฎหมาย

การที่ได้ศึกษาเรื่องแนวทางการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคล ด้วยเทคโนโลยีชีวมาตรนั้น ทำให้บุคคลและองค์กร ตระหนักรู้ถึงวิธีการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลที่ถูกต้อง เพื่อไม่ให้เสี่ยงต่อการละเมิดสิทธิตัวความเป็นส่วนตัว หรือสิทธิข้อมูลส่วนบุคคล เพราะว่าบทลงโทษทางกฎหมายนั้นรุนแรง ถ้าผู้กระทำผิดเป็นนิติบุคคล กรรมการ / ผู้จัดการ / ผู้สั่ง / บุคคลที่รับผิดชอบในการดาเนินงาน / บุคคลที่มีหน้าที่สั่งการต้องระวางโทษในความผิดนั้นด้วย (มาตรา 81) สำหรับบทลงโทษ นั้นแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ (1). มาตรการทางแพ่ง อัตราโทษ คือ จ่ายค่าเสียหายตามจริง สินไหมทดแทนสูงสุด 2 เท่า ของค่าเสียหายตามจริง (อายุความ 3 ปี นับตั้งแต่รู้เรื่อง รู้ตัว หรือ 10 ปี นับตั้งแต่ละเมิด) (2). มาตรการทางอาญา อัตราโทษจำคุกสูงสุด 1 ปี ปรับไม่เกิน 1,000,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ (ความผิดอันยอมความได้) (3). มาตรการทางปกครอง ปรับไม่เกิน 5,000,000 บาท

5. สรุป

ดังนั้น จะเห็นได้ว่า การจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลด้วยเทคโนโลยีชีวมาตร ไม่ว่าจะเป็นการจัดเก็บลายพิมพ์นิ้วมือ ภาพถ่าย ฝ่ามือ ม่านตา ใบหน้า เสียงพูด ลายเซ็น ดีเอ็นเอ เป็นต้น นับว่าเป็นความท้าทายอย่างยิ่งหน่วยงานของรัฐบาล และภาคธุรกิจ รวมถึงบุคคลที่เกี่ยวได้แก่ (1) เจ้าของข้อมูลส่วนบุคคล, (2) ผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคล, (3) ผู้ประมวลผลข้อมูลส่วนบุคค, และ (4) เจ้าหน้าที่คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ควรจัดเก็บข้อมูลเท่าที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ควรจัดเก็บเฉพาะลายพิมพ์นิ้ว ภาพถ่ายเท่านั้นไม่ควรจัดเก็บข้อมูลทุกอย่าง เช่น ม่านตา

และ DNA เพราะว่าอาจมีความเสี่ยงต่อการละเมิดความเป็นส่วนตัวหรือสิทธิส่วนบุคคล เนื่องจากพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ปี 2562 มีผลบังคับใช้แล้ว ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ. 2565 เป็นต้นมา

6. ข้อเสนอแนะ

(1) หน่วยงานของรัฐบาล และภาคธุรกิจ ควรหลีกเลี่ยงการบังคับใช้ในการจัดเก็บข้อมูลส่วนบุคคลด้วยเทคโนโลยีชีวมาตร และควรจัดเก็บข้อมูลเท่าที่จำเป็นจะต้องใช้เท่านั้น และควรมีมาตรการเยียวยาแก้ไขให้กับเจ้าของข้อมูลส่วนบุคคลที่เกิดการรั่วไหล และได้รับความเสียหาย

(2) ทุกหน่วยงาน ควรมีมาตรการป้องกันกำกับดูแลความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลส่วนบุคคลอย่างเข้มแข็ง อย่าให้ข้อมูลรั่วไหล และมีหลักธรรมมาภิบาลที่โปร่งใสสามารถตรวจสอบได้

(3) รัฐบาลไม่ควรจะยอมให้หน่วยงานภาคเอกชน เข้ามาบริหารจัดการฐานข้อมูลชีวมาตร เพราะว่ามีการเปลี่ยนแปลงบริษัทผู้ประมูลอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการรั่วไหลของข้อมูลส่วนบุคคล นอกจากนี้ควรมีการเผยแพร่ พ.ร.บ. คุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล ปี 2562 นี้ให้ทั่วถึง

7. เอกสารอ้างอิง

ณฐพร วิริยะลัพภะ และคณะ. (2563). ปัญหาทางกฎหมายเกี่ยวกับพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 : ศึกษากรณีหน้าที่ของผู้ควบคุมข้อมูลส่วนบุคคลตามมาตรา 39. *หนังสือประมวลบทความการประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยรังสิต ครั้งที่ 15 ประจำปี 2563,* วันที่ 13 สิงหาคม 2563 ณ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2195-2204.

ปริญญา หอมอเนก. (2562). *สไลด์การประกอบการบรรยายเรื่อง การจัดเก็บข้อมูลชีวมาตร (Biometrics) ของหน่วยงานรัฐกับการละเมิดสิทธิส่วนบุคคลและผลกระทบต่อความมั่นคงของประเทศ, 2562.*

บรรเจิด สิงคะเนติ และคณะ. (2565). *ปัญหาและมาตรการทางกฎหมายในการรับรอง และคุ้มครองสิทธิในความเป็นอยู่ส่วนตัว (Right to privacy)*, [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 11 กันยายน 2565. หน้า 88-91. จาก http://library.nhrc.or.th/ulib/document/Fulltext/F06924.pdf

เดอะสแตนดาร์ด (Thestandard). (2565). *British Airways ถูกสั่งปรับเงินเป็นสถิติกว่า 7 พันล้านบาท จากกรณีข้อมูลลูกค้ารั่วไหลในปี 2018,* [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2565 จาก https://thestandard.co/british-airways-fine-over-passenger-data-breach/

โพสต์ทูเดย์ (Posttoday). (2565). *"แมริออท"อ่วม! เจอแฮ็กข้อมูลลูกค้า 500 ล้านราย ส่อเสียค่าปรับ 200 ล้านดอลลาร์,* [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 กันยายน 2565 จาก https://www.posttoday.com/world/572621

ศรัณย์ สัมฤทธิ์เดชขจร. (2565). ไบโอเมทริกซ์ (Biometric) คืออะไร, [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2565 จาก http://www.hitop.co.th/bio-metric.html

สุธี ทุวิรัตน์. (2565) ยื่นร้องนายก หวั่นล้วงตับ สแกนใบหน้า, หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ, หน้า 1 ฉบับที่ 3,495 วันที่ 11 – 14 สิงหาคม พ.ศ. 2562. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2565 จาก https://www.thansettakij.com/content/407027

สุพล พรหมมาพันธุ์. (2563). การพิสูจน์ตัวตนด้วยเทคโนโลยีชีวมาตรกับความเสี่ยงในการละเมิดสิทธิส่วนบุคคล, *วารสารแพทยสารทหารอากาศ, 66*(1), หน้า 32-42.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2565). *ข้อมูลที่ระบุตัวบุคคลได้* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อวันที่ 22 สิงหาคม 2565, จาก: https://th.wikipedia.org/wiki/ข้อมูลที่ระบุตัวบุคคลได้.

อัจจิมา มณฑาพันธุ์.(2565). *การวิเคราะห์ เปรียบเทียบการระบุตัวตน โดยการใช้ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของร่างกาย (A Comparative Analysis of Physiological Biometrics AuthenticatioN)* [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2565 จาก http://dspace.spu.ac.th/bitstream/

อุดมธิปก ไพรเกษตร. (2565). *เอกสารประกอบการบรรยายเรื่อง "บทบาทของผู้ประกอบการ SMEs ในพระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล PDPA"* โครงการ เติมทุน ต่อยอด เพิ่มศักยภาพ SMEs ไทยไปกับธนาคารออมสินและสมาพันธ์เอสเอ็มอีไทย. 2565. หน้า 5-17.

Gary B. Shelly. (2020), Discovering Computers 2020 A Gateway to Information Web Enhance "Discovering Computers 2020: A Gateway to Information Web Enhanced Introductory" Thomson Course Technology, 2020: 263.

แบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

LEARNING THE SKILL OF DRAWING GEOMETRIC SHAPES BY VIRTUAL EXPERIENCE MODEL

กฤดิกร วิชชาธรตระกูล

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น

E-mail: Kriddikron.wi@spu.ac.th

จิรนัยน์ ยอดดี

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น

E-mail: Jiranai.yo@spu.ac.th

จีระวรรณ วิสายอน

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: jerawan.vi@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต 2) เพื่อประเมินความมั่นใจระหว่างการเรียนรูปแบบเดิมกับการเรียนผ่านแบบจำลองของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแบบจำลอง 3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาสาขาวิชามัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ต่อการใช้งานแบบจำลอง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีมัลติมีเดียจำนวน 5 คน 2) นักศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย ชั้นปีที่ 1 จำนวน 28 คน

ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาระบบดังกล่าวข้างต้นจะส่งผลให้การเรียนการสอนในรายวิชา MMT103 (ชื่อวิชาศิลปะและการออกแบบ) ของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย จากเดิมจะใช้เพียงแค่รูปภาพหรือวีดีโอในการเรียนการสอน ซึ่งในแบบจำลองที่พัฒนาได้ใช้การสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ ประกอบเสียงบรรยาย โดยส่วนการออกแบบโมเดล 3 มิติ ได้ใช้รูปร่างโมเดลรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งโมเดลได้มีการจัดวางตำแหน่งต่างๆ ได้อย่างอิสระและสามารถจัดแสงในเวลาต่างๆ ให้สามารถเข้าใจแสงเงาได้มากยิ่งขึ้น และการออกแบบและพัฒนาแบบจำลองที่สามารถโต้ตอบกับผู้เรียนให้มีเสียงบรรยายประกอบ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องของนักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย ดึงดูดความสนใจ สามารถที่จะมองเห็นในมุมมองต่างๆ ได้อย่างอิสระในมุมมองใดก็ได้ และปลอดภัยจากสถานการณ์โควิด-19ที่ไม่สามารถรวมกลุ่มได้ ผลการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษามีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ที่ในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.57) เมื่อพิจารณาผลเป็นรายด้าน พบว่าอยู่ที่ในระดับมากที่สุด 2 ด้าน และด้านที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ ด้านพัฒนาการการเรียน ($\bar{x}$ = 4.67) รองลงมาได้แก่ด้านการใช้งาน ($\bar{x}$ = 4.58) และผลการประเมินความมั่นใจระหว่างการเรียนรูปแบบเดิมกับการเรียนผ่านแบบจำลองของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิตนักศึกษาในรูปแบบเดิมก่อนใช้งานมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ในระดับมาก

(ค่าเฉลี่ย = 3.53) โดยมีค่าเฉลี่ยของผลการพิจารณาความมั่นใจอยู่ระหว่าง 3.52 – 3.56 และเมื่อหลังได้ทดลองใช้งานมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.41) โดยมีค่าเฉลี่ยของผลการพิจารณาความมั่นใจอยู่ระหว่าง 4.19 – 4.43 ซึ่งมีผลต่างทำให้เกิดความมั่นใจเฉลี่ยรวมเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.8 โดยด้านความสมจริงมีความมั่นใจเพิ่มมากขึ้นที่สุด

คำสำคัญ: รูปทรงเรขาคณิต เทคโนโลยีความจริงเสมือน ทักษะการวาดแสงและเงา

ABSTRACT

The research aimed to 1) develop a virtual experience model in learning geometric shapes drawing skills, 2) assess the confidence between traditional learning style and learning through the virtual experience model of the multimedia technology program students, and 3) assess the satisfaction of multimedia program students, the Faculty of Information Technology in using the model. The sample group consisted of 1) five multimedia technology specialists, and 2) 28 first-year Bachelor of Science students from the Multimedia Technology Program, Sripatum University Khon Kaen Campus.

The results found that developing the system mentioned above will affect the teaching and learning of the multimedia technology students' MMT103 (Art and Design) course through the use of animations with audio narration from the developed model instead of using only pictures or videos. The design of the 3D model was based on geometric shapes. The model allows the different shapes to be positioned freely and provide the ability to arrange the lighting based on the different times of day to allow for more understanding of lights and shadows. The model's design and development interact with learners through audio narration, stimulating continuous learning, drawing attention, and allowing multimedia technology students to observe different perspectives freely from any angle. The model also provides safety from the uncontrollable Covid-19 situation where students are not allowed to get into groups physically. The overall satisfaction of the students was at a high level ($\bar{X}$ = 4.57). When considering each aspect, two aspects showed the highest mean. The aspect with the highest mean was learning development ($\bar{X}$ = 4.67), followed by usability ($\bar{X}$ = 4.58). The results of the confidence assessment between the traditional learning model and learning through the model of the multimedia technology students who had used the virtual experience model to learn the skills of drawing geometric shapes. Before the use of the model, the traditional learning method received a high level (mean = 3.53), with the mean of the confidence assessment between 3.52 – 3.56. After the trial, the mean was at a high level (mean = 4.41), with the mean of the confidence assessment between 4.19 to 4.43. The difference showed an increase in the overall confidence mean of 0.8, with virtual experience gaining the most increased confidence.

Keywords: Geometric Shapes, Virtual Reality Technology, Light and Shadow Drawing Skill

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การเรียนการสอนในรายวิชาศิลปะและการออกแบบ ได้ให้นักศึกษาฝึกทักษะการวาดภาพรูปร่างรูปทรงเรขาคณิตผ่านหุ่นนิ่งรูปทรงเรขาคณิตและในแสงเงาจากสภาพแวดล้อมจริงซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้นักศึกษาไม่สามารถวาดรูปในสภาพแวดล้อมเดิมได้ และเนื่องจากสถานการณ์โควิด19 ทำให้ไม่สามารถจัดการเรียนการสอนในรูปแบบปกติได้ เพราะการรวมกลุ่มกันจะทำให้เกิดความเสี่ยง จึงได้ปรับการเรียนการสอนใหม่ในลักษณะวาดตามภาพถ่ายตัวอย่าง แต่เนื่องจากภาพถ่ายสามารถมองเห็นได้เพียง 2 มิติเท่านั้น ไม่สามารถเลือกมุมมองตามความต้องการของผู้วาดได้ ดังนั้นจึงต้องมีการประยุกต์ความรู้ใหม่ๆและปรับเปลี่ยนวิธีการในการจัดการเรียนการสอนให้เหมาะสมสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีและการเรียนรู้ของนักศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาผู้เรียนให้สามารถบูรณาการความรู้และประยุกต์ใช้ทักษะต่างๆได้อย่างมืออาชีพ สามารถสร้างความเข้าใจและเรียนรู้ได้ด้วยตนเองจนเกิดเป็นการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง (วัชรพงศ์ หงส์สุวรรณ, 2552)

ขณะที่เทคโนโลยีความจริงเสมือน (Virtual Reality) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกสร้างขึ้นมา ทั้งนี้จะจำลองสภาพแวดล้อมต่างๆขึ้นมาด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำลองภาพ เสียงและประสาทสัมผัสด้านอื่นมอบประสบการณ์การเรียนรู้แบบการเรียนรู้เชิงรุก (Active learning) ให้กับผู้ใช้งาน (Darlis Herumurti, et al., 2017)

ผู้พัฒนาจึงให้ความสำคัญกับปัญหานี้ จึงได้มีการนำเทคโนโลยีความจริงเสมือน และใช้ การเรียนรู้เชิงรุกซึ่งเป็นการจัดการเรียนการสอนเพื่อเน้นพัฒนากระบวนการเรียนรู้ ส่งเสริมและกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการประยุกต์ใช้ทักษะและสามารถนำความรู้ที่ได้ไปเชื่อมโยงสู่การปฏิบัติ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ โดยมีหลักการในการจัดรูปแบบการเรียนการสอนแบบการเรียนรู้เชิงรุก (กาญจนา บุญภักดิ์, 2561) ซึ่งจะมีการนำเอาวิธีการสอนต่างๆ ที่หลากหลาย มาใช้ออกแบบรูปแบบการสอน รวมทั้งกิจกรรมที่จะกระตุ้นให้ผู้เรียนได้มีส่วนร่วมกันในชั้นเรียน จึงทำให้มีแนวคิดที่พัฒนาสื่อส่งเสริมการเรียนรู้ทักษะวาดภาพรูปแบบความจริงเสมือน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อออกพัฒนาแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

(2) เพื่อประเมินความมั่นใจระหว่างการเรียนรูปแบบเดิมกับการเรียนผ่านแบบจำลองของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรง

(3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาและคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียต่อการใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 แนวคิด ทฤษฎี

3.1.1.1 การ COMPOSITION เป็นหลักสำคัญสำหรับผู้สร้างสรรค์ และผู้ศึกษางานศิลปะ เนื่องจากผลงานศิลปะใดๆ ก็ตาม ล้วนมีคุณค่า อยู่ 2 ประการ คือ คุณค่าทางด้านรูปทรง และคุณค่าทางด้านเรื่องราว คุณค่าทางด้านรูปทรงเกิดจากการนำ เอาองค์ประกอบต่างๆ ของศิลปะ อันได้แก่ เส้น สีแสงและ เงา รูปร่าง รูปทรง พื้นผิว ฯลฯ มาจัดเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิด ความงาม ซึ่งแนวทางในการนำองค์ประกอบต่างๆ มาจัดรวมกันนั้นเรียกว่าการจัดองค์ประกอบศิลป์ โดยมีหลักการจัดตามที่จะก้าวต่อไปอีก (Panyawanan, N., 2019)

3.1.1.2 เทคนิคกระตุ้นประสาทสัมผัสสิ่งแวดล้อม มีองค์ประกอบสำคัญของเทคนิคนี้คือ กระบวนการสร้างสรรค์ เครื่องมือ VR และการสนับสนุนเครื่องมือ ความคิดสร้างสรรค์กระบวนการประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานแบบรายบุคคลและแบบกลุ่มเครื่องมือ VR ความคิดสร้างสรรค์เสมือนจริง รวมถึงฟังก์ชันเพื่อรองรับการจัดเตรียม VCE รุ่นและการประเมินความคิดใหม่ๆ สำหรับการสร้าง VCE เครื่องมือนี้มีตัวกำหนดค่าสภาพแวดล้อมผู้ใช้ฟังก์ชันนี้ได้รับการสนับสนุนโดยกฎการออกแบบสำหรับ VCE (Graessler Iris., et al., 2019)

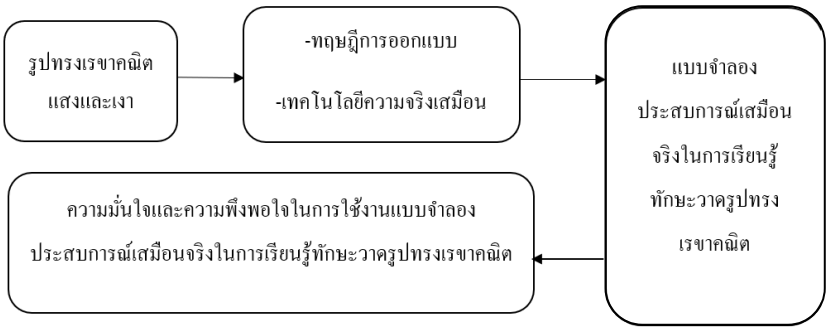
3.1.1.3 Physics-based Animation เป็น Library สำหรับ Animation API มาตัวหนึ่งคือ Dynamic Animation จุดเด่นของ Library ตัวนี้ก็คือ เป็นการทำให้ตัว Animation เคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ (Physics-based Animation) โดยมีความเร็ว(velocity) และ ระยะทาง เป็นตัวแปรสำคัญ ทำให้การเคลื่อนที่ของ Animation นั้นดูเป็นธรรมชาติมากขึ้น (Kenny Erleben., et al., 2005)

3.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.2.1 การพัฒนาแบบจำลองความจริงเสมือน 3 มิติในการศึกษาการถ่ายภาพทางรังสีมาทดลองใช้ในหลักสูตรการถ่ายภาพรังสีระดับปริญญาตรี ซึ่งนักศึกษาจะได้ทำการเอ็กซ์เรย์ผู้ป่วยเสมือนจริงในชุดความจริงเสมือนโดยใช้ชุดหูฟัง HTC Vive Pro และตัวควบคุมมือ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นักศึกษาส่วนใหญ่ร้อยละ 58 มีความมั่นใจที่เพิ่มขึ้น (O'Connor,M., et al., 2021)

3.1.2.2 การหาปริมาณการวางตำแหน่งผู้ป่วยด้วยรังสีของนักเรียน โดยใช้การจำลองความเป็นจริงเสมือน ผลลัพธ์ที่ได้นักศึกษาในกลุ่มที่ 1 ทำได้ดีกว่านักศึกษากลุ่มที่ 2 โดยเฉลี่ย 36% ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดตำแหน่งผู้ป่วย ซึ่งนักศึกษากลุ่มที่ 1 ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ VR clinic แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์การกำหนดตำแหน่งของผู้ป่วยที่ดีขึ้น การปรับปรุงที่สังเกตได้นั้นมาจากการแยกโครงสร้างงานโดยธรรมชาติและกลไกการสร้างภาพที่หลากหลายที่มีอยู่ในสภาพแวดล้อมความจริงเสมือนที่สมจริง (Sapkaroski, D., et al., 2019)

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

4.1.1 การกำหนดปัญหา

เมื่อพิจารณากำหนดปัญหาได้แล้ว ในขั้นตอนนี้จะรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะมาจากหลายๆส่วนประกอบ เช่น ข้อมูลจากอาจารย์, ข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้โดยเริ่มจากการค้นหา สร้างแนวทาง และจึงเริ่มวางแผนดำเนินงานโครงการ

4.1.2 การศึกษาความเป็นไปได้

เมื่อพิจารณากำหนดปัญหาได้แล้ว ในขั้นตอนนี้จะรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมจากแหล่งต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะมาจากคณาจารย์ผู้สอน ผู้เชี่ยวชาญ ตำราเรียน และงานวิจัยต่างๆ โดยศึกษาความเป็นไปได้ ซึ่งมีเป้าหมายของโครงงานให้สามารถเห็นโมเดลเรขาคณิตได้อย่างอิสระ สามารถเดินดูรอบๆห้องได้อย่างอิสระ สามารถเห็นแสงและเงาของวัตถุและตั้งค่าช่วงเวลาต่างๆได้ และสามารถหยิบจับอุปกรณ์ต่างๆ

4.1.3 การวิเคราะห์ระบบ

เริ่มจากทำการศึกษาถึงขั้นตอนการดำเนินงานของระบบเดิมหรือระบบปัจจุบันว่าเป็นไปอย่างไรบ้าง ปัญหาที่เกิดขึ้นคืออะไร โดยในการศึกษาได้ศึกษาจากกระบวนการสอนในห้องเรียนรูปแบบเก่า เปรียบเทียบกับการเรียนในรูปแบบออนไลน์ในสถานการณ์โควิด-19 หลังจากนั้นจึงรวบรวมความต้องการในระบบใหม่จากคณาจารย์ ผู้เชี่ยวชาญ โดยอาจจะมีการใช้เทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูล เช่น การสัมภาษณ์

4.1.4 การออกแบบระบบ

เป็นขั้นตอนที่กำหนดถึงลักษณะของรูปแบบรายงานที่เกิดจากการทำงานของระบบ ลักษณะของการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบและผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ มีการจัดทำแผนภาพที่แสดงถึงความต้องการของผู้ใช้ระบบที่ได้จาก ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบมาทำการแปลงเพื่อให้ได้ข้อมูลเฉพาะของการออกแบบ ที่สามารถนำไปเขียนโปรแกรมได้สะดวกขึ้น โดยจะออกแบบในรูปแบบของสตอรีบอร์ด เนื้อเรื่อง แผนผัง

4.1.5 การสร้างและพัฒนาระบบ

เป็นระยะที่เกี่ยวข้องกับสร้างและพัฒนาโปรแกรม โดยได้ออกแบบและพัฒนาแบบจำลองตามที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะมีการเขียนชุดคำสั่งเพื่อประสานกันสร้างเป็นระบบเครือข่ายขึ้นมา โดยได้นำเครื่องมือโปรแกรมต่างๆเข้ามาช่วยในการพัฒนา เพื่อที่จะช่วยให้สามารถพัฒนาได้อย่างรวดเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเครื่องมือทางด้านซอฟต์แวร์จะประกอบด้วย Autodesk Maya, Unity 3D, Adobe Photoshop, Visual Studio

1) สร้างตัวละคร อุปกรณ์ต่างๆ และห้องเอกซเรย์ เป็นโมเดล 3 มิติ ตามที่ได้ออกแบบไว้
2) ออกแบบปุ่มกดสำหรับเป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ โดยใช้โปรแกรม Adobe Photoshop
3) นำตัวละครอุปกรณ์ต่างๆ มาจัดวางให้เหมาะสมในโปรแกรม Unity 3D
4) เขียนโค้ดเพื่อกำหนดการทำงานต่างๆ และใส่เสียงประกอบในโปรแกรม Visual Studio

4.1.6 การทดสอบและติดตั้งระบบ

เมื่อแบบจำลองได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นมาแล้วจะยังไม่สามารถที่จะนำแบบจำลองไปให้ผู้เรียนใช้ได้ จำเป็นที่จะต้องมีการดำเนินการทดสอบแบบจำลองก่อน โดยจะมีการทดสอบข้อมูลเบื้องต้นด้วยการปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ลองเดิน ลองใช้งานฟังก์ชัน กดปุ่มคำสั่งต่างๆ การทดสอบระบบจะมีการตรวจสอบไวยากรณ์ของภาษาเขียน แล้วดำเนินการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลองให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด

4.1.7 การประเมิน

หลังจากได้แบบจำลองแล้วจะได้ดำเนินการให้ผู้เรียนและผู้เชี่ยวชาญได้ใช้งาน และค้นพบวิธีการซึ่งอาจจะมีปัญหาเกิดขึ้นก็ต้องดำเนินการแก้ไขปัญหานั้นเพื่อให้ตรงกับความต้องการของคณาจารย์ผู้สอน เจ้าหน้าที่วิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย โดยมีการประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน เพื่อหาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งได้นำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมิน (Kokaew, U., 2015)

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

4.2.1 ประชากร

นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น รหัส64 จำนวน 32 คน

4.2.2 กลุ่มตัวอย่าง

นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น รหัส64 จำนวน 32 คน โดยมีกระบวนการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งได้ใช้ตารางของเครจซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ที่มีระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้ความคลาดเคลื่อนการสุ่ม 5% ทำให้ได้การศึกษาครั้งนี้ประชากรกลุ่มเป้าหมายที่เป็นนักศึกษาในสาขาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย 32 คน ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการศึกษา เป็นจำนวน 28 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย

4.3.1 แบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

4.3.2 แบบประเมินความมั่นใจระหว่างการเรียนรูปแบบเดิมกับการเรียนผ่านแบบจำลองของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

4.3.3 แบบประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาและคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียต่อการใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม โดยจะมีการประเมินความเหมาะสมของสื่อการเรียนรู้จากผู้เชี่ยวชาญ และการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย ซึ่งคำถามที่ใช้ในการประเมินจะแตกต่างกันออกแบบตามแต่ละบุคคล ซึ่งคำถามที่ใช้ในการประเมินของนักศึกษาจะเกี่ยวข้องกับ ด้านการใช้งาน ด้านเจตคติ ด้านการพัฒนาการเรียน และจะมีการประเมินความมั่นใจก่อนปฏิบัติงานจริงของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

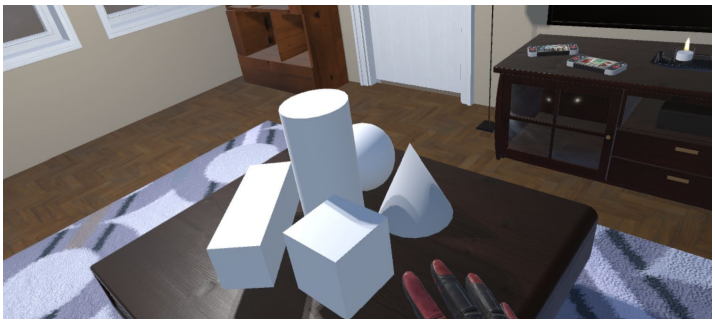
การประเมินความมั่นใจระหว่างการเรียนรูปแบบเดิมกับการเรียนผ่านแบบจำลอง และการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานของนักศึกษา โดยกลุ่มตัวอย่างได้แก่นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น จำนวน 28 คน โดยมีกระบวนการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งได้ใช้ตารางของเครจซี่และมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ที่มีระดับความเชื่อมั่น 95 % โดยใช้ความคลาดเคลื่อนการสุ่ม 5%

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต ตามขั้นตอนการวิจัยในระยะที่ 1 โดยนำข้อมูลจากการศึกษา และวิเคราะห์ มาจัดทำแบบจำลองแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

ทั้งนี้ผู้ใช้จะต้องติดตั้งแอพพลิเคชันและแว่นVRกับคอมพิวเตอร์ โดยเมื่อผู้ใช้สวมแว่นVR จะมองเห็นห้องเสมือนจริงพร้อมโมเดลหุ่นรูปทรงเรขาคณิตแบบต่าง ซึ่งผู้ใช้สามารถมองได้อย่างอิสระตามที่ต้องการ สามารถเดินภายในห้องเสมือนอยู่ภายในห้องที่มีหุ่นรูปทรงเรขาคณิตจริงๆ

ภายในแบบจำลองจะประกอบไปด้วยโมเดลหุ่นเรขาคณิตแบบต่างๆ มากมาย ทางผู้วิจัยได้พัฒนาให้สามารถหยิบจับหุ่นโมเดลเรขาคณิตเพื่อจัดตำแหน่งต่างๆ ได้ตามใจผู้ใช้งาน โดยเมื่อหยิบจับจะมีเสียงบรรยายประกอบการอธิบายของรูปทรงเรขาคณิตในแบบนั้นๆ



แบบจำลองได้มีฟังก์ชันในการปรับแสงและเงาในทิศทางต่างๆ เพื่อให้ตกกระทบกับวัตถุหุ่นรูปทรงเรขาคณิตได้อีกด้วย และหากไม่เข้าใจวิธีการวาดเบื้องต้นในแบบจำลองก็ได้มีคลิปวีดีโอประกอบเสียงบรรยายทักษะการวาด ทั้งนี้แบบจำลองสามารถมองเห็นในมุมมองต่างๆ ได้อย่างอิสระ 360 องศา และการออกแบบและพัฒนาแอพพลิเคชั่นที่สามารถโต้ตอบกับผู้เรียนให้มีเสียงบรรยายประกอบ ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจเนื้อหาได้มากขึ้น สร้างแรงจูงใจในการเรียนได้ดีกว่ารูปแบบการเรียนปกติ ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และทบทวนความรู้ได้ตลอดเวลาตามที่ตนเองต้องการ เรียนได้ทุกทีทุกเวลาอีกด้วย

5.2 แสดงผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้การถ่ายภาพทางรังสี

ตารางที่ 2 แสดงผลที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษา

ข้อที่	รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1	ด้านการใช้งาน	4.58	0.43	มากที่สุด
2	ด้านเจตคติ	4.5	0.91	มาก
3	ด้านพัฒนาการการเรียน	4.67	0.57	มากที่สุด
รวมเฉลี่ยทั้งหมด		**4.57**	**0.8**	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่านักศึกษา ได้ค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในเกณฑ์ระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.57) โดยมีค่าเฉลี่ยของผลการพิจารณาความพึงพอใจอยู่ระหว่าง 4.5 – 4.67 โดยด้านพัฒนาการการเรียนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด อยู่ในเกณฑ์ระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.67) รองลงมาคือด้านการปฏิบัติ มีความพึงพอใจที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.58) ตามลำดับ

5.3 แสดงผลการประเมินความมั่นใจก่อนปฏิบัติงานจริงของนักศึกษาสาขารังสีเทคนิคที่ได้ใช้งานแบบจำลองการเอกซเรย์ด้วยเทคโนโลยีเสมือนจริง

ตารางที่ 3 แสดงผลที่ได้จากการประเมินความมั่นใจจริงของนักศึกษา

รายการที่ได้ประเมิน	รูปแบบเดิม		รูปแบบใหม่		ผลต่าง
	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
1. ด้านความสวยงาม	3.52	0.51	4.43	0.38	0.91
2. ด้านความสมดุล	3.51	0.51	4.20	0.62	0.69
3. ด้านทักษะ	3.52	0.50	4.19	0.39	0.67
4. ด้านความสมจริง	3.56	0.50	4.49	0.43	0.93
รวมเฉลี่ย	**3.53**	**0.51**	**4.41**	**0.44**	**0.8**

จากตารางที่ 3 พบว่านักศึกษาก่อนใช้งานมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในเกณฑ์ระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 3.53) โดยผลค่าเฉลี่ยของผลการพิจารณาความมั่นใจอยู่ระหว่าง 3.52 – 3.56 และเมื่อหลังได้ทดลองใช้งานมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.41) โดยมีค่าเฉลี่ยของผลการพิจารณาความมั่นใจอยู่ระหว่าง 4.19 – 4.43 ซึ่งมีผลต่างทำให้เกิดความมั่นใจเฉลี่ยรวมเพิ่มขึ้นอยู่ที่ 0.8 โดยด้านความสมจริงมีความมั่นใจเพิ่มมากขึ้นที่สุด (0.70) รองลงมาเป็นด้านความสวยงาม (0.50) และด้านความสมดุล ด้านทักษะ

6. อภิปรายผล

6.1 แบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

ผลการพัฒนาแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิตพบว่าผู้ศึกษาออกแบบตามหลักทฤษฎีการเรียนรู้โดยมัลติมีเดีย ซึ่งใช้การสร้างภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ ประกอบเสียงบรรยาย โดยส่วนการออกแบบโมเดล 3 มิติ ได้ใช้รูปร่างโมเดลรูปทรงเรขาคณิต ซึ่งโมเดลได้มีการจัดวางตำแหน่งต่างๆ ได้อย่างอิสระและสามารถจัดแสงในเวลาต่าง ๆให้สามารถเข้าใจแสงเงาได้มากยิ่งขึ้น และการออกแบบและ

พัฒนาแบบจำลองที่สามารถโต้ตอบกับผู้เรียนให้มีเสียงบรรยายประกอบ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้อย่างต่อเนื่องของนักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย ดึงดูดความสนใจ สามารถที่จะมองเห็นในมุมมองต่างๆ ได้อย่างอิสระในมุมมองใดก็ได้ และปลอดภัยจากสถานการณ์โควิด-19ที่ไม่สามารถรวมกลุ่มได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการวิจัยครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ออกแบบและพัฒนา 3 ขั้นตอน ตามทฤษฎีการเรียนรู้โดยมัลติมีเดียจึงส่งผลให้เกิดความรู้ในรูปแบบของภาพและเสียงสิ่งเหล่านี้จะเข้าไปรวมกับความรู้เดิมในส่วนของความจำระยะสั้น ซึ่งสามารถปรับให้กลายเป็นความจำระยะยาวได้ ส่งผลให้เกิดความคงทนต่อความรู้ภายในหนังสือเรียนมากยิ่งขึ้น ดังนั้นโมเดล 3 มิติ และแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นรวมกันเป็นแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิตจึงทำให้นักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย สามารถจดจำเนื้อหาในบทเรียน การปฏิบัติ และกระบวนการต่างๆได้ดียิ่งขึ้น สอดคล้องกับธันยา นวลละออง และคณะ ได้วิจัยเรื่องการสร้างเกมการเรียนรู้สามมิติเพื่อเสริมสร้างทักษะภาษาอังกฤษตามทฤษฎีพหุปัญญาของนักเรียนผ่านเทคโนโลยีความจริงเสริม ผลการวิจัยพบว่าสื่อการเรียนรู้ที่พัฒนาขึ้นสามารถดึงดูดความสนใจของผู้เรียนจะสามารถส่งเสริมและเพิ่มผลการเรียนรู้ได้ดี (ธันยา นวลละออง และคณะ, 2558)

6.2 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

ผลการประเมินที่เกิดจากความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิตพบว่า นักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียมีความรู้ความเข้าใจ และมีความพึงใจในการปฏิบัติต่อระบบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด เพราะจากระบบมีองค์ประกอบเป็นสื่อ 3 มิติ มีเสียงบรรยายประกอบการอธิบาย และสามารถทดลองฝึกปฏิบัติได้เสมือนอยู่ภายในห้องทีมีโมเดลในสถานที่จริง ทำให้นักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียสามารถเข้าใจเนื้อหาได้มากขึ้น สร้างและกระตุ้นแรงจูงใจในการเรียนได้ดีกว่ารูปแบบการเรียนการสอนในรูปแบบเดิม ๆปกติ จึงส่งผลให้นักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียมีความพึงพอใจในการปฏิบัติอยู่ในเกณฑ์ระดับมากที่สุด สอดคล้องกับ ปฐมาวดี เปี่ยมพอดีและคณะ ได้วิจัยเรื่อง สื่อทัศนียภาพเสมือนจริงภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ พบว่า ได้สำรวจความพึงพอใจทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านรูปแบบสื่อ ด้านการนำเสนอ ด้านการใช้งาน ซึ่งมีระดับความพึงพอใจโดยรวมที่อยู่ระดับดี เนื่องจากผู้ใช้สามารถมองเห็นส่วนต่างๆได้อย่างอิสระ เนื้อหาต่างๆได้ตลอดเวลาตามที่ตนเองต้องการ แปลกใหม่สร้างการดึงดูดใจได้มากกว่าแบบเดิมๆ (ปฐมาวดี เปี่ยมพอดีและคณะ, 2562)

6.3 ผลการประเมินความมั่นใจระหว่างการเรียนรูปแบบเดิมกับการเรียนผ่านแบบจำลองของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิต

ผลการประเมินความมั่นใจก่อนปฏิบัติงานจริงของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียที่ได้ใช้งานแแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้ทักษะวาดรูปทรงเรขาคณิตพบว่าหลังจากนักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียได้ใช้งานแบบจำลองทำให้มั่นใจในการใช้งานมากขึ้นอยู่จากเดิมอยู่ที่ 0.8 เพราะนักศึกษาสามารถที่จะมองเห็นอุปกรณ์ต่างๆ แสงและเงาในเวลาต่างๆได้อย่างอิสระ ซึ่งเมื่อได้เห็นได้ฝึกปฏิบัติบ่อยๆทำให้เกิดความเคยชิน ลดความตื่นเต้นเมื่อต้องเจอกับสถานการณ์จริงได้ ซึ่งสอดคล้องกับ O'Connor, M., ที่ได้พัฒนาแบบจำลองความจริงเสมือน 3 มิติในการศึกษาการถ่ายภาพทางรังสีมาทดลองใช้ในหลักสูตรการถ่ายภาพรังสีระดับปริญญาตรี โดยได้ทำการเอกซเรย์ผู้ป่วยเสมือนจริงในชุดความจริงเสมือน โดยใช้ชุดหูฟัง HTC Vive Pro และตัวควบคุมมือ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นักศึกษาส่วนใหญ่ร้อยละ 94 ต้องการแนะนำเครื่องมือนี้ให้กับนักศึกษาคน

อื่นๆ โดยมีระยะเวลาการใช้งานที่ทำให้รู้สึกสบายใจไม่อึดอัดอยู่ที่ 60 นาที และนักศึกษาส่วนใหญ่ร้อยละ 58 มีผลทำให้เกิดความมั่นใจเพิ่มขึ้นในด้านการปรับเทียบลำแสง การวางเครื่องหมายทางกายวิภาค การวางหลอดเอกซเรย์ไว้ตรงกลางและการเลือกพารามิเตอร์ (O'Connor,M., et al., 2021)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1)คณาจารย์ควรให้คำแนะนำกับนักศึกษาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดียในการใช้งานแบบจำลองประสบการณ์เสมือนจริงในการเรียนรู้การวาดรูปทรงเรขาคณิตและกำหนดระยะเวลาในการใช้งานแบบจำลอง

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

7.2.1 หากมีการปรับปรุงงานวิจัย จะทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้โดยใช้อุปกรณ์โทรศัพท์เคลื่อนที่จากที่ผู้เรียนมีอยู่ โดยจัดซื้อแค่กล้อง VR แบบครอบศีรษะ ที่มีราคาถูกมาใช้งาน จะทำให้ผู้เรียนเข้าถึงได้ง่ายขึ้นกว่าเดิม

7.2.2 มีการเก็บข้อมูลจุดอ่อนที่เกิดขึ้นหรือปัญหาที่ผู้ใช้งานระบบประสบอยู่ เพื่อนำมาปรับงานวิจัยให้ดีมากยิ่งขึ้นในอนาคต

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้เสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดีเนื่องจากได้ด้วยความช่วยเหลือ และทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตขอนแก่น ผู้ช่วยศาสตราจารย์จรรยา พุคยาภรณ์ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ตลอดจนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ประกอบการทดลอง

9. เอกสารอ้างอิง

กาญจนา บุญภักดิ์. (2561). การจัดการเรียนรู้ สู่ THAILAND 4.0 : ACTIVE LEARNING. *Journal of Industrial Education, 17*(2), 1-6.

ธันยา นวลละออง และนงลักษณ์ ปรีชาดิเรก. (2558). การสร้างเกมการเรียนรู้สามมิติเพื่อเสริมสร้างทักษะภาษาอังกฤษตามทฤษฎีพหุปัญญาของนักเรียนผ่านเทคโนโลยี Augmented Reality. *ICT Silpakorn Journal, 2*(1), 11-27.

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2549). *การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS.* กรุงเทพฯ: บริษัทวี อินเตอร์พริ้นท์.

ฝ่ายผลิตหนังสือตำราวิชาการคอมพิวเตอร์ บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน). (2551). *การวิเคราะห์และออกแบบระบบ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

วัชรพงศ์ หงส์สุวรรณ. (2552). *วาดเส้นมัณฑนศิลป์*. พิมพ์ครั้งที่4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มิตรสัมพันธ์กราฟฟิค จำกัด.

Erleben, K., Sporring J., Henriksen, K. and Dohlmann, H. (2005). *Physics-Based Animation.* First ed. 2005, Hingham, MA: Charles River Media, Inc. 817.

Graessler, I., Taplick, P. (2019). Supporting Creativity with Virtual Reality Technology. in *Proceedings of the 22nd International Conference on Engineering Design (ICED19)*, Delft, The Netherlands, 5-8 August 2019.

Herumurti, D., Yuniarti, A., Kuswardayan, I., Khotimah, W. N., & Widyananda, W. (2017). Virtual reality navigation system in virtual mall environment. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Communication and Information Processing (ICCIP'17)*, Tokyo, Japan

Kokaew, U. (2015). Design and Development of an Integrated Online System Support for C/C++ Programming. Science & Technology Asia, 2015, 47-58.

Krejcie, R. V. & Morgan, D. W. (1970). Determining Sample Size for Research Activities. *Educational and Psychological Measurement, 30*(3), pp. 607-610.

O'Connor, M. et al, (2021). 3D virtual reality simulation in radiography education: The students' experience. *Radiography, 27*(1), 208–214.

Panyawanan, N. (2019). Character model design and 3D animation creation. *Executive Journal, 39*(1), 67-81.

Sapkaroski, D., Baird, M., Mundy, M., & Dimmock, M. R. (2019). Quantification of Student Radiographic Patient Positioning Using an Immersive Virtual Reality Simulation. *Simulation in Healthcare, 14*(4), 258–263.

การพัฒนาระบบโทรศัพท์และการสื่อสารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยี VoIP ผ่าน SIP PROTOCOL

THE DEVELOPMENT OF TELEPHONE AND COMMUNICATION SYSTEM WITHIN PHETCHABUN RAJABHAT UNIVERSITY USING VoIP TECHNOLOGY VIA SIP PROTOCOL

นายธนวัฒน์ เฉลิมพงษ์

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

E-mail: thanawat@pcru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาระบบโทรศัพท์สำหรับสื่อสารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยี VoIP ผ่าน SIP Protocol โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบรองรับการให้บริการอาจารย์และเจ้าหน้าที่ซึ่งเป็นบุคลากรภายในหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัย ที่จำเป็นต้องมีการติดต่อประสานงานกันอยู่เสมอ ผู้วิจัยได้มีหน้าที่ผิดชอบงานดูแลและควบคุมการทำงานของระบบโทรศัพท์ภายในมหาวิทยาลัย พบปัญหาการใช้งาน ซึ่งเมื่อใดที่ต้องการติดต่ออาจารย์หรือเจ้าหน้าที่ที่อยู่ภายนอกมหาวิทยาลัย จำเป็นต้องติดต่อผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการนำเทคโนโลยี VoIP มาใช้งานโดยสร้างระบบให้สามารถโทรติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ภายในบนโต๊ะทำงาน สื่อสารไปหาโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย และสามารถโทรติดต่อจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนไปหาเครื่องโทรศัพท์บนโต๊ะทำงานภายในมหาวิทยาลัยได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายเพียงแต่เครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟนนั้นต้องสามารถใช้งานอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ทำให้มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ได้ระบบโทรศัพท์ที่สามารถสื่อสารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยี VoIP ผ่าน SIP Protocol และได้ผลประเมินความพึงพอใจการใช้งาน ซึ่งผลการสำรวจอยู่ในระดับมาก (ผลการประเมิน เฉลี่ย = 4.22, SD = 0.65) ซึ่งมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่คาดหวังไว้

คำสำคัญ: โทรศัพท์สมาร์ทโฟน, โทรศัพท์ภายใน, อินเทอร์เน็ต

ABSTRACT

This research aimed to present the development of telephone and communication system within Phetchabun Rajabhat University using VoIP technology via SIP protocol. The objective of this research was to develop a service support system for teachers and staff who are internal personnel with constant requirement for coordination. The researcher was responsible for overseeing and controlling the operation of the telephone system within the university, encountering a problem of use that when wanting to contact professors or staff outside the university, it was necessary to contact via smart phones, in which the cost of use was quite high. The researcher

therefore studied the application of VoIP technology by creating a system that allowed calls between a desk phone and a smart phone for free and can call from a smart phone to a desk phone free of charge, but the smart phone must be able to access the internet. The results of this research had enabled Phetchabun Rajabhat University to have a telephone system that can communicate from inside and outside Phetchabun Rajabhat University using VoIP technology via SIP Protocol free of charge; and when assessing user satisfaction, the survey results were at a high level (Mean assessment result average = 4.22, SD = 0.65) which was consistent with the expected research objectives.

Keywords: Smartphone, Desk Phone, Internet

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันการสื่อสารด้วยโทรศัพท์ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ระหว่างบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์นั้น สามารถใช้งานผ่านระบบโทรศัพท์ได้ 2 ชนิด คือ ระบบโทรศัพท์แบบอนาล็อก (Analog PABX) และระบบโทรศัพท์แบบดิจิทัล (Cisco VoIP Call manager) ซึ่งมีข้อจำกัดของทั้งสองระบบ คือ สามารถใช้งานสื่อสารได้เฉพาะเครื่องโทรศัพท์ตั้งโต๊ะที่ติดตั้งอยู่บนโต๊ะทำงานเท่านั้น หากต้องการติดต่อกับอาจารย์ หรือเจ้าหน้าที่ ที่ไม่อยู่ประจำโต๊ะทำงาน ต้องโทรติดต่อผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่มีค่าใช้จ่ายในการโทรติดต่อ หรืออาจต้องสื่อสารผ่านสื่อสังคมออนไลน์ เช่น เฟซบุ๊ค หรือ ไลน์ ซึ่งผู้ใช้ปลายทางต้องมีการสมัครใช้งานและต้องออนไลน์สื่อสังคมออนไลน์อยู่เท่านั้น ซึ่งสามารถแยกข้อจำกัดในการติดต่อสื่อสารระหว่างระบบโทรศัพท์ตั้งโต๊ะภายในมหาวิทยาลัย ดังนี้

ปัญหา และข้อจำกัดของผู้ใช้ที่ต้องการติดต่อผ่านโทรศัพท์กับบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย

1) ค่าใช้จ่ายในการโทรติดต่อกับมหาวิทยาลัยผ่านโทรศัพท์พื้นฐานหรือโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

2) ต้องอยู่ภายในมหาวิทยาลัยเท่านั้น เพื่อใช้งานโทรศัพท์ภายในมหาวิทยาลัย

ปัญหา และข้อจำกัดของระบบสื่อสารภายในมหาวิทยาลัย

1) จำนวนคู่สายโทรศัพท์ต้องใช้จำนวนมากเพื่อรองรับการติดต่อของผู้ใช้บริการ สำหรับระบบโทรศัพท์อนาล็อก (Analog PABX)

2) ค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องโทรศัพท์ชนิดดิจิทัล (Cisco IP Phone) ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพงเพราะเป็นอุปกรณ์เฉพาะด้านในการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์ดิจิทัล (Cisco VoIP Call manager)

3) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการโทรออกผ่านคู่สายโทรศัพท์พื้นฐานของผู้ให้บริการ บริษัท โทรคมนาคมแห่งชาติ จำกัด (NT)

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบสื่อสารโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดต่างๆ โดยนำเทคโนโลยี VoIP ผ่านโปรโตคอล SIP ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบมัลติมีเดีย และเป็นรูปแบบการสื่อสารที่สามารถรองรับการให้บริการได้ไม่จำกัดจำนวนการใช้งานไม่จำกัดสถานที่ การใช้งานระบบที่ง่ายและสะดวกเพราะเป็นเป็นการติดต่อกันในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่ครอบคลุมอยู่ทั่วโลก ผู้ใช้งานสามารถโทรติดต่อได้ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์โดยไม่มีค่าใช้จ่าย เพราะระบบทั้งหมดจะทำงานอยู่บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้สะดวกในการใช้งานและแก้ไขปัญหาข้อจำกัดเรื่องของค่าใช้จ่ายและสถานที่ในการใช้งานได้สะดวกรวดเร็ว รวมถึงการนำระบบไปประยุกต์ใช้ในองค์กรหรือหน่วยงานที่ให้บริการได้โดยไม่ต้องใช้

งบประมาณที่สูงมาก และทำให้ช่วยเพิ่มช่องทางการสื่อสารให้กับหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบโทรศัพท์ที่สามารถรองรับการให้บริการอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภายในหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ สามารถติดต่อสื่อสารระหว่างโทรศัพท์สมาร์ทโฟนและโทรศัพท์บนโต๊ะสำนักงานได้ โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เทคโนโลยี VoIP

Voice Over IP หรือ Voice Over Internet Protocol เรียกสั้นๆ ว่า VoIP เป็นเทคโนโลยีภายใต้การทำงานบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถรับส่งข้อมูลเสียงผ่านเครือข่ายไอพีเป็นระบบที่แปลงสัญญาณเสียงในรูปของสัญญาณไฟฟ้ามาเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล เป็นการนำเอาข้อมูลเสียง มาบีบอัดและบรรจุลงเป็นแพ็กเกจไอพี (IP) แล้วส่งไปโดยเร้าเตอร์ (Router) ที่เป็นตัวรับสัญญาณแพ็กเกจ และทำการบีบอัดสัญญาณเสียง ให้มีขนาดเล็กลงการเพื่อแก้ไขปัญหาเมื่อมีบางแพ็กเกจสูญหาย หรือได้มาล่าช้า

3.2 มาตรฐาน SIP

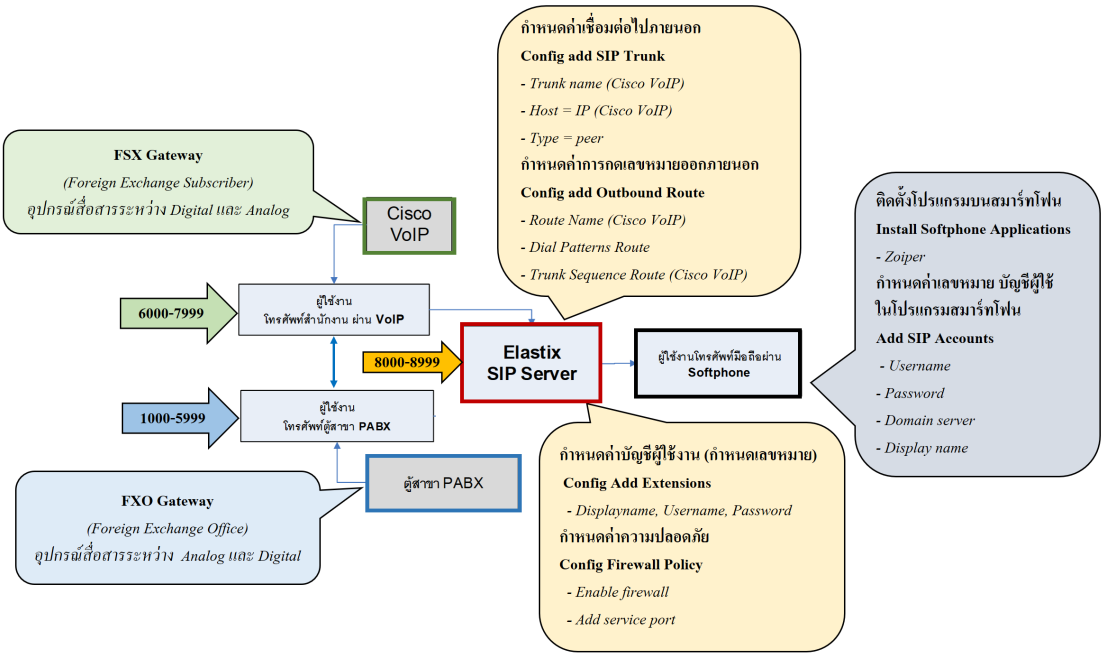
SIP (Session Initiation Protocol) เป็นโปรโตคอลที่ทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารด้วยเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อ แก้ไข และยกเลิกมัลติมีเดียเซสชั่นของ VoIP นอกจากนี้ SIP ยังสามารถเชื่อมต่อผู้ใช้เข้ากับเซสชั่นที่มีอยู่แล้ว ซึ่งทำให้การสื่อสารแบบหลายคน (Multicast Conference) การสื่อสารด้วยมีเดียอาจถูกเพิ่มเข้าหรือเอาออกจากเซสชั่นที่มีอยู่แล้ว SIP รองรับการแมปชื่อและการโอนสายไปยังจุดอื่น ซึ่งทำให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับจุดใดจุดหนึ่งของเครือข่ายได้ SIP เป็นโปรโตคอลที่ใช้สำหรับควบคุมการโทรการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการสื่อสาร และการวางสายเมื่อสิ้นสุดการสนทนา ซึ่งการสื่อสารในที่นี้อาจอยู่ในรูปแบบของการสนทนาด้วยเสียง วิดีโอ หรือการแลกเปลี่ยนดาต้าประเภทอื่นๆ การส่งข้อมูลของโปรโตคอล SIP นั้นจะอยู่ในรูปแบบข้อความคล้ายกับโปรโตคอล HTTP หรือ SMTP

3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบระบบบริหารจัดการโทรศัพท์ VoIP สำหรับมหาวิทยาลัยศิลปากรโดยไพร รุ่งเรือง ซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบซอฟแวร์ต้นแบบเพื่อสนับสนุนการใช้งานระบบโทรศัพท์ VoIP สำหรับนักศึกษา อาจารย์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยพัฒนาระบบโทรศัพท์ VoIP ซึ่งทำงานบนโปรโตคอล SIP ด้วยซอฟแวร์ Asterisk เพื่อรองรับสมาชิกที่จะเข้ามาใช้งานด้วย Softphone พร้อมทั้งได้นำระบบการประชุมมาสนับสนุนการเรียนการสอนทางไกล ซึ่งผลการพัฒนาระบบสามารถใช้งานได้เฉพาะภายในระบบเดียวเท่านั้น ยังไม่รองรับการเชื่อมต่อสื่อสารไปยังระบบโทรศัพท์ภายในมหาวิทยาลัยเดิมที่เป็นระบบตู้สาขา Analog PABX ได้

ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดในการพัฒนาระบบโทรศัพท์ VoIP ที่สามารถรองรับการติดต่อสื่อสารระหว่างระบบโทรศัพท์ภายในมหาวิทยาลัยเดิมที่เป็นแบบอนาล็อก (Analog PABX) และแบบดิจิทัล (Cisco VoIP Call manager) รวมถึงการสื่อสารไปยังระบบโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องอยู่ภายในมหาวิทยาลัย และสามารถติดต่อประสานงานได้จากทุกที่เพียงแค่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้

3.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย เทคโนโลยี VoIP ผ่านโปรโตคอล SIP



แผนภาพที่ 1 การสื่อสารระหว่างโทรศัพท์ตั้งโต๊ะสำนักงานภายในมหาวิทยาลัยทั้งระบบที่ใช้งานผ่าน Cisco VoIP และที่ใช้งานผ่านตู้สาขา PABX สามารถโทรติดต่อไปยังโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งโปรแกรม Softphone

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

ออกแบบระบบการจัดการเลขหมายโทรศัพท์ที่ใช้งานบนระบบ Elastix เพื่อให้ไม่ซ้ำกับเลขหมายบนระบบตู้สาขาโทรศัพท์ IPBX และระบบโทรศัพท์ดิจิทัล VoIP ของชุมสายโทรศัพท์เดิมภายในมหาวิทยาลัยโดยออกแบบกลุ่มแลขหมายโทรศัพท์ ดังนี้

- กลุ่มเลขหมายเดิม ระบบโทรศัพท์ Analog PABX (กลุ่มเลขหมาย 1000-5999)
- กลุ่มเลขหมายเดิม ระบบโทรศัพท์ Cisco VoIP (กลุ่มเลขหมาย 6000-7999)
- กลุ่มเลขหมายใหม่สำหรับระบบ Smart Phone VoIP (กลุ่มเลขหมาย 8000-8999)
- เลข 0 สำหรับใช้ติดต่อฝ่ายประชาสัมพันธ์ (Operator)
- เลข 9 สำหรับใช้โทรออกสายนอก (ผ่านระบบโทรศัพท์พื้นฐาน ISDN PRI)

4.2 การพัฒนาระบบ

พัฒนาระบบด้วยวิธีการติดตั้งโปรแกรม Elastix และการเขียนชุดคำสั่งในโปรแกรม Asterisk การทำ Configuration SIP Trunk สำหรับเชื่อมไปยังระบบภายนอก, Outbound Routes สำหรับกำหนดการโทรเข้าออก Add Extensions สำหรับกำหนดบัญชีผู้ใช้งาน และ Firewall Policy สำหรับกำหนดความปลอดภัยการเข้าใช้งานของระบบ รวมถึงการกำหนดไอพีสำหรับติดตั้งบนการ์ดแลนจำนวน 2 ชุดไอพี เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงไปยังระบบโทรศัพท์ภายในระบบเดิม และติดต่อภายนอกมหาลัยได้ โดยติดตั้งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ SIP Server และติดตั้งโปรแกรม Softphone และกำหนดค่าพารามิเตอร์ลงบนเครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟนที่ติดตั้งแอพลิเคชั่น Softphone

4.3 การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบโดยวิธีการขอร้องให้บุคลากรภายในมหาวิทยาลัยที่ยิมยอมให้ติดตั้งโปรแกรมแอพลิเคชั่น Softphone บนเครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ภายในมหาวิทยาลัยโดยแบ่งประเภทของเครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟน แยกตามระบบปฏิบัติการ ซึ่งมี 2 ระบบปฏิบัติการคือ ระบบปฏิบัติการ Android และระบบปฏิบัติการ IOS และให้เครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ที่ติดตั้งโปรแกรมสามารถโทรออกไปยังเลขหมายโทรศัพท์ตั้งโต๊ะตามหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

4.4 ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย ที่ใช้งานระบบโทรศัพท์โดยตรง เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารประสานงานกันภายในหน่วยงาน ซึ่งยินยอมติดตั้งโปรแกรมแอพลิเคชั่นบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน โดยแบ่งจำนวนการทดสอบการใช้งานระบบ ดังนี้ อาจารย์ จำนวน 15 คน, เจ้าหน้าที่ จำนวน 41 คน รวมกลุ่มตัวอย่าง ทั้งหมด 56 คน

4.5 เครื่องมือวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือในการ วิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1) ด้านอุปกรณ์มีรายการดังนี้

- เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ทดสอบติดตั้งโปรแกรม Elastix ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Linux CentOS ซึ่งจะทำหน้าที่ SIP Server มีรายละเอียดเครื่องคอมพิวเตอร์ดังนี้ หน่วยประมวลผล (CPU) ขนาด 2 GHz แบบ dual core processor, หน่วยความจำสำรอง (RAM) ขนาด4 GB , หน่วยความจำหลัก (Hard disk SATA) ขนาดพื้นที่ 250 GB., การ์ดแลน (Network Card) ขนาด 10/100/1000 Mbps จำนวน 2 การ์ด (สำหรับติดตั้งไอพีเพื่อติดต่อไปยังระบบโทรศัพท์ดิจิทัล (Cisco VoIP Call manager) และสำหรับติดต่อระหว่างผู้ใช้งานโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผ่านระบบอินเทอร์เน็ต)

- เครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการ IOS และ Android ที่ติดตั้งโปรแกรมแอพลิเคชั่น Zoiper ซึ่งเป็นโปรแกรมฟรีแวร์

- ระบบโทรศัพท์ภายในมหาวิทยาลัยระบบตู้สาขาโทรศัพท์อนาล็อก (NEC Analog PABX) และระบบดิจิทัล (Cisco VoIP Call manager)

2) ด้านการสำรวจประเมินความพึงพอใจการใช้บริการ โดยได้แบ่งแบบสอบถามออกเป็น 2 ตอน รายละเอียดดังนี้

ตอนที่ 1

1) สถานภาพ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2) ระบบปฏิบัติการบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนของผู้ใช้งาน โดยมีระบบปฏิบัติการ ระบบปฏิบัติการ IOS - ระบบปฏิบัติการ Android

3) การใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ตใช้อินเทอร์เน็ตภายในมหาวิทยาลัย และใช้อินเทอร์เน็ตภายนอกมหาวิทยาลัย

ตอนที่ 2 กรอกแบบสอบถาม เพื่อแสดงความคิดเห็นตามความพึงพอใจในแต่ระดับ ระดับ 5 หมายถึง ดีมาก ระดับ 4 หมายถึง ดี ระดับ 3 หมายถึง ปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง พอใช้ ระดับ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

4.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บข้อมูลประเมินค่าใช้จ่าย โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลการใช้งานโดยเจาะจงเลือกเฉพาะเลขหมายที่สามารถขอดูข้อมูลใบแจ้งหนี้ได้ เฉพาะเลขหมายที่อยู่ภายในหน่วยงานเดียวกับผู้วิจัย โดยเป็นเลขหมายที่มีการติดต่อประสานงานอยู่เสมอโดยใช้เวลาเก็บข้อมูลเปรียบเทียบจำนวน 4 เดือน (กรกฎาคมถึงตุลาคม 2564) เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย และผู้วิจัยได้สร้างแบบประเมินความพึงพอใจการใช้บริการระบบรูปแบบออนไลน์ โดยจัดทำระบบประเมินผ่านเว็บไซต์สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพื่อให้ผู้ใช้ระบบสามารถคลิกตอบแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบแบบออนไลน์ได้ โดยเปิดให้ตอบแบบสอบถามหลังจากทดสอบการใช้งาน

4.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1) ค่าร้อยละ (Percentage) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลของแบบสอบถามในตอนที่ 1 เกี่ยวกับสถานภาพ ของผู้ตอบแบบสอบถาม และตอนที่ 2 เกี่ยวกับความพึงพอใจผู้ใช้งาน

2) ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Division) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลของแบบสอบถามในตอนที่ 2 เกี่ยวกับความพึงพอใจผู้ใช้บริการ สถิติพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ค่าร้อยละ (Percentage)

$$P = \frac{f}{n} \times 100$$

เมื่อ P แทน ร้อยละ

f แทน ความถี่ที่ต้องการเปลี่ยนแปลงให้เป็นร้อยละ

N แทน จำนวนความถี่ทั้งหมด

2. ค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean)

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

เมื่อ X แทน ตัวกลางเลขคณิตหรือค่าเฉลี่ย

$\bar{X}$ แทน ผลรวมทั้งหมดของคะแนน

N แทน จำนวนคนทั้งหมด

4.8 การวิเคราะห์ข้อมูลระบบประเมินความพึงพอใจ

วิเคราะห์ได้จากระบบซึ่งได้คำนวณหาข้อมูลดังนี้

1. จำนวนผู้ตอบซึ่งเป็นข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ อาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งเป็นบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย ที่ใช้งานระบบโทรศัพท์โดยตรง เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารประสานงานกันภายในหน่วยงาน ซึ่งยินยอมติดตั้งโปรแกรมแอพลิเคชั่นบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

2. ค่าร้อยละ เป็นข้อมูลส่วนตัวของผู้ตอบแบบสอบถามโดยนำมาแจกแจงความถี่เป็นค่าร้อยละ

3. ค่าเฉลี่ย เป็นข้อมูลที่เป็นแบบมาตราส่วน คำนวณค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D) แต่ละข้อนำมาเทียบกับเกณฑ์ 5 ระดับ ดังนี้ ระดับ 5 หมายถึง ดีมาก ระดับ 4 หมายถึง ดี ระดับ 3 หมายถึง ปานกลาง ระดับ 2 หมายถึง พอใช้ ระดับ 1 หมายถึง ควรปรับปรุง

5. ผลการวิจัย

5.1 ผลการวิจัยด้านการทำงานของระบบ

จากการทดสอบการใช้งานพบว่า ระบบสามารถช่วยให้ผู้ใช้บริการมีความสะดวกในการใช้งานและช่วยให้มหาวิทยาลัยมีช่องทางการติดต่อสื่อสาร สามารถทำงานได้ทุกที่ทุกเวลาโดยใช้งานผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยที่คุณภาพของเสียงที่ติดต่อสื่อสารกัน อยู่ในระดับคุณภาพที่ชัดเจนแม้จะมีการใช้งานต่างพื้นที่ต่างจังหวัดผ่านโครงข่ายไวไฟ หรือ โครงข่ายโทรศัพท์ 3G หรือ 4G แสดงในตาราง 1 และ ตาราง 2 และได้เก็บข้อมูลการใช้งานเพื่อเปรียบเทียบระหว่างใช้งานแบบเดิม และการใช้งานผ่านระบบ VoIP ซึ่งได้ผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3 การสรุปผลค่าใช้จ่ายการเก็บข้อมูลการโทรจำนวน 1 เลขหมายที่ใช้งานประสานงานเป็นประจำ พบว่าไม่มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นในใบแจ้งหนี้ เมื่อใช้งานผ่าน VoIP ซึ่งผู้ใช้งานโทรติดต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์เลขหมาย 0881519978 ได้ติดตั้งแอพลิเคชั่น Zoiper ไว้

ตารางที่ 1 สรุปผลการใช้งานต่างระบบปฏิบัติการบนเครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

หัวข้อ การใช้งานต่างระบบปฏิบัติการบนเครื่องโทรศัพท์สมาร์ทโฟน	ผลการทำงาน		ปัญหาที่พบ และข้อจำกัดการใช้งาน
	ได้	ไม่ได้ บางครั้ง	
1. โทรศัพท์ตั้งโต๊ะภายในมหาวิทยาลัยติดต่อไปยังโทรศัพท์สมาร์ทโฟน (IOS)		✓	ข้อจำกัดของระบบปฏิบัติการ IOS บางครั้งไม่สามารถทำงานบนพื้นหลังได้ ทำให้บางครั้ง ไม่สามารถโทรเข้าไปหาโทรศัพท์ที่เป็น IOS ได้
2. โทรศัพท์ตั้งโต๊ะภายในมหาวิทยาลัยติดต่อไปยังโทรศัพท์สมาร์ทโฟน (Android)	✓		
3. การโทรศัพท์ระหว่างโทรศัพท์สมาร์ทโฟน (Android, IOS)	✓		ข้อจำกัดของระบบปฏิบัติการ IOS บางครั้งไม่สามารถทำงานบนพื้นหลังได้ ทำให้บางครั้ง ไม่สามารถโทรเข้าไปหาโทรศัพท์ที่เป็น IOS ได้

ตารางที่ 2 สรุปผลการใช้งานเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

หัวข้อขอบเขต การใช้งานที่โทรศัพท์สมาร์ทโฟนเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต	ผลการทำงาน		ปัญหาที่พบ และข้อจำกัดการใช้งาน
	ได้	ไม่ได้	
1. ผู้ใช้งานโทรศัพท์สมาร์ทโฟน Smartphone ใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ต Wi-Fi ภายในมหาวิทยาลัย	✓		
2. ผู้ใช้งานโทรศัพท์สมาร์ทโฟน Smartphone ใช้งานผ่านอินเทอร์เน็ต ภายนอกมหาวิทยาลัย	✓		มีข้อจำกัดเรื่องคุณภาพและความเร็วของสัญญาณอินเทอร์เน็ตในบางพื้นที่

ตารางที่ 3 ข้อมูลรายงานค่าใช้จ่ายการโทรออกผ่านหมายเลขโทรศัพท์ภายใน ติดต่อโทรศัพท์สมาร์ทโฟนAndroid

หมายเลขโทรศัพท์ภายในสำนักงาน (Analog PABX)	โทรออกผ่านระบบโทรศัพท์	หมายเลขโทรศัพท์ปลายทาง	เครือข่ายมือถือผู้รับสาย	ครั้ง	เวลารวม (นาที)	ค่าโทร นาทีละ 2 บาท	เดือน 2564
2814	ISDN 056717153	SIM 0881519978	CAT Telecom	19	35	70	กรกฎาคม
2814	ISDN 056717153	SIM 0881519978	CAT Telecom	12	42	84	สิงหาคม
2814	VoIP (SIP)	Zoiper 8999	CAT Telecom	21	45	**0**	กันยายน
2814	VoIP (SIP)	Zoiper 8999	CAT Telecom	33	52	**0**	ตุลาคม

5.2 ผลการวิจัยด้านสำรวจความพึงพอใจการใช้งานของระบบ

จากการสำรวจความพึงพอใจการใช้งานของระบบพบว่า กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถาม และยินยอมติดตั้งโปรแกรม Softphone บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ทั้งหมดจำนวน 56 คน ส่วนใหญ่เป็นเจ้าหน้าที่จำนวน 41 คน คิดเป็นร้อยละ 73.21 % อาจารย์จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 26.79 %

ระบบปฏิบัติการบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนของผู้ใช้งานจากการสำรวจได้ผลข้อมูลตามลำดับดังนี้ ระบบปฏิบัติการส่วนมากผู้ใช้งานใช้ระบบปฏิบัติการ Android จำนวน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 80.36 % และระบบปฏิบัติการ IOS จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 19.64 %

จำนวนผู้ใช้ใช้งานภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ มีจำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 67.86 % และจำนวนผู้ใช้งานผ่านใช้Wi-Fi ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์จำนวน 18 คน คิดเป็นร้อยละ32.14 %

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจการใช้งาน ด้านอุปกรณ์และการติดตั้งโปรแกรม บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

ความพึงพอใจการใช้งาน ด้านอุปกรณ์และการติดตั้งโปรแกรม บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน	ร้อยละ	ระดับ
โปรแกรมที่ติดตั้งบนเครื่องโทรศัพท์มีฟังก์ชั่นการทำงานเพียงพอต่อความต้องการ	3.82	0.61	76.42	ดี
ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมบนเครื่องโทรศัพท์ง่ายและสะดวก	3.82	0.61	76.42	ดี
วิธีการใช้งานโทรศัพท์ไม่ซับซ้อน	3.82	0.61	76.42	ดี
รวม	3.82	0.61	76.42	ดี

ตารางที่ 5 ความพึงพอใจการใช้งาน ด้านการทำงานของระบบ VoIP บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน

ความพึงพอใจการใช้งาน ด้านการทำงานของระบบ VoIP บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน	ร้อยละ
ขั้นตอนการใช้งานง่ายและสะดวก	4.27	0.50	85.36
ไม่มีสัญญาณรบกวนหรือสายหลุด ระหว่างสนทนา	4.25	0.51	85.00
เสียงการสนทนาชัดเจนทั้งผู้รับและผู้ส่ง	4.25	0.51	85.00
รวม	4.26	0.48	85.12

ตารางที่ 6 ความพึงพอใจการใช้งาน ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ VoIP โทรศัพท์สมาร์ทโฟน

ความพึงพอใจการใช้งาน ด้านความสะดวกในการใช้งาน ระบบ VoIP บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)	ส่วนเบี่ยงเบน	ร้อยละ
เพิ่มช่องทางการติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลได้มากขึ้น	4.59	0.49	91.78
ลดค่าใช้จ่ายในการโทรเข้าระบบโทรศัพท์สมาร์ทโฟนระหว่างบุคคลได้มากขึ้น	4.59	0.49	91.78
คาดว่าจะแนะนำให้ผู้อื่นในหน่วยงานเข้าร่วมใช้งานระบบ	4.61	0.46	92.14
รวม	4.60	0.44	91.90

6. อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามที่เป็นผู้ใช้บริการระบบ มีจำนวน 56 คน จากการวิเคราะห์ผล โดยรวมมีผลประเมินเฉลี่ย 4.22 และ ส่วนเบี่ยงเบน (SD) 0.65 โดยรวมอยู่ในระดับมาก และสามารถแบ่งเป็นด้านได้ ดังนี้

6.1 จากตารางที่ 4 ด้านอุปกรณ์และการติดตั้งโปรแกรมบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผู้ใช้บริการมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดี ทุกข้อในระดับเดียวกัน ค่าเฉลี่ย 3.82 คิดเป็นร้อยละ 76.42% ดังนี้ โปรแกรมที่ติดตั้งบนเครื่องโทรศัพท์มีฟังก์ชั่นการทำงานเพียงพอต่อความต้องการ, ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรมบนเครื่องโทรศัพท์ง่ายและสะดวก, วิธีการใช้งานโทรศัพท์ไม่ซับซ้อน

จากการวิเคราะห์ พบว่าการติดตั้งโปรแกรมยังมีความซับซ้อนมากพอสมควร เนื่องจากต้องให้ทางผู้วิจัยดำเนินการตั้งค่าต่างๆ ให้ตรงกับที่ระบบ SIP Server ต้องการ ซึ่งเป็นการตั้งค่าด้านเทคนิค ทำให้ผู้ใช้งานไม่สะดวกในการตั้งค่าเองทำให้ถูกมองว่าค่อนข้างซับซ้อน

6.2 จากตารางที่ 5 ด้านการทำงานของระบบ VoIP บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีทุกข้อ เรียงตามลำดับดังนี้ ขั้นตอนการใช้งานง่ายและสะดวก ค่าเฉลี่ย 4.27 คิดเป็นร้อยละ 58.36%, ไม่มีสัญญาณรบกวนหรือสายหลุด ระหว่างสนทนา และ เสียงการสนทนาชัดเจนทั้งผู้รับและผู้ส่งอยู่ระดับเดียวกัน ค่าเฉลี่ย 4.25 คิดเป็นร้อยละ 85.00 % ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ พบว่าผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถเปิดโปรแกรม Softphone จากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนแล้วโทรออกไปยังเครื่องโทรศัพท์ตั้งโต๊ะภายในมหาวิทยาลัยได้ทันที ทำให้มองว่ามีความสะดวกในการใช้งานดีแม้จะไม่อยู่ภายในมหาวิทยาลัย

6.3 จากตารางที่ 6 ด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ VoIP บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับดีมากทุกข้อ เรียงตามลำดับดังนี้ คาดว่าจะแนะนำให้ผู้อื่นในหน่วยงานเข้าร่วมใช้งานระบบ ค่าเฉลี่ย 4.61 คิดเป็นร้อยละ 92.14 % , เพิ่มช่องทางการติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลได้มากขึ้นและลดค่าใช้จ่ายในการโทรเข้าระบบโทรศัพท์สมาร์ทโฟนระหว่างบุคคลได้มากขึ้น อยู่ระดับเดียวกัน ค่าเฉลี่ย 4.59 คิดเป็นร้อยละ 91.78 %

จากการวิเคราะห์ พบว่าผู้ใช้งานระบบโทรศัพท์ภายในผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟน มีความพึงพอใจการใช้งานระบบในระดับดีมาก เนื่องจากสามารถเพิ่มช่องทางการสื่อสารทั้งภายในและภายนอก เพื่อติดต่อระหว่างบุคคล โดยลดค่าใช้จ่ายจากค่าโทรศัพท์สมาร์ทโฟนและค่าโทรศัพท์พื้นฐาน และคาดว่าจะแนะนำให้ผู้อื่นภายในหน่วยงานติดตั้งระบบเพื่อใช้งาน จึงทำให้ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดีมาก

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

นำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงข่ายในอนาคตเพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานขององค์กรได้ดีสามารถปรับเปลี่ยนการใช้งานได้อย่างยืดหยุ่นตามงบประมาณและวัตถุประสงค์

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผลจากการศึกษาวิจัยการพัฒนาระบบโทรศัพท์และการสื่อสารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ด้วยเทคโนโลยี VoIP ผ่าน SIP Protocol ความพึงพอใจผู้ใช้งานด้านอุปกรณ์และการติดตั้งโปรแกรม บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน และด้านการทำงานของระบบ VoIP บนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน อยู่ในระดับที่ดี แต่ยังคงมีบางส่วนที่มีปัญหาการใช้งานเช่น ปัญหาการติดตั้งโปรแกรมบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ซึ่งผู้ใช้งานไม่สามารถตั้งค่าในมือถือเองได้ และปัญหาโปรแกรม Softphone ที่ติดตั้งบนโทรศัพท์ระบบปฏิบัติการ IOS ยังมีปัญหาการทำงานบนพื้นหลัง ซึ่งผลการวิจัยที่ได้สามารถช่วยให้มีแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข การวางแผนการปรับปรุงการให้บริการอย่างเหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของผู้ใช้งานให้มากยิ่งขึ้นต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยการพัฒนาระบบโทรศัพท์และการสื่อสารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ด้วย เทคโนโลยี VoIP ผ่าน SIP Protocol ได้รับ การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย (ประเภทงานวิจัยสถาบัน) จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้บริหาร อาจารย์ เจ้าหน้าที่ ที่เสียสละเวลาในการทดสอบการใช้งานระบบ และตอบแบบประเมินความพึงพอใจผู้ใช้งาน ผู้วิจัยขอบพระคุณความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่บุคลากร งานบริการคอมพิวเตอร์ฯ สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ ในการร่วมพัฒนาโปรแกรมรวบรวมข้อมูลแบบประเมินความพึงพอใจออนไลน์และจัดหาไอพีโดเมนสำหรับ SIP Server เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์จึงขอขอบคุณพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์อย่างสูง

9. เอกสารอ้างอิง

กิตติพงษ์ สุวรรณราช. (2551). *ออกแบบและติดตั้งระบบโทรศัพท์ IP-PBX ด้วย Asterisk.* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ออฟเซ็ตเพรส.

กิติมา ปรีดีลก. (2529). *ทฤษฎีบริหารองค์การ*. กรุงเทพฯ: คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

ธงชัย สันติวงษ์. (2530). *องค์การและการบริหารการศึกษาการจัดการแผนใหม่ Organization and management.* กรุงเทพฯ: ไทยวัฒนาพานิช.

บุญชม ศรีสะอาด. (2545). *การวิจัยเบื้องต้น.* กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาสน.

พิมล เมฆสวัสดิ์. (2549). *การประเมินคุณภาพการบริการสำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.* กรุงเทพฯ: สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

วุฒิชัย จำนง. (2525). *การจูงใจในองค์การธุรกิจ.* กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร.

Millet, John D. (1954). *Management in Public Service.* New York: McGraw-Hill.

Morse, Nancy C. (1958) . *Satisfaction in the White Collar Job.* Michigan: University of Michigan.

Newcumer, Mabel. (1995) . *The Big Business Executive*. New York: Columbia University.

ห้องที่ 5:

วิทยาศาสตร์สุขภาพ

ผลของโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคที 1 และ 7 ต่อความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัด

THE EFFECT OF NURSING CARE PROGRAM INTEGRATING SKT 1 AND 7 MEDITATION ON ANXIETY IN LUNG CANCER PATIENTS RECEIVING CHEMOTHERAPY

เสาวรัตน์ พรายอินทร์

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail: psaowara@medicine.psu.ac.th

ทิพมาส ชิณวงศ์

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail: tippamas.c@psu.ac.th

วรางคณา กีรติชนานนท์

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail: tikrittirak@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัย: เพื่อเปรียบเทียบระดับความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดก่อนและหลังการร่วมโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ และเปรียบเทียบระดับความวิตกกังวลในกลุ่มหลังได้รับโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ กับกลุ่มที่ได้รับการพยาบาลปกติ ใช้รูปแบบวิจัยกึ่งทดลอง 2 กลุ่มวัดผลก่อน-หลัง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 28 คน แบ่งเป็นกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยการสุ่มแบบบล็อค กลุ่มทดลอง (n = 14) ได้รับโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ (ฝึกสมาธิบำบัดเอสเคที 1 และ 7) วันละ 4 ครั้ง เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ร่วมกับได้รับการพยาบาลปกติ และกลุ่มควบคุม (n = 14) ได้รับการพยาบาลปกติเพียงอย่างเดียว กลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มได้รับการติดตามทางโทรศัพท์ในวันที่ 1, 2, 3 สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 1 วัน ก่อนวันนัดครั้งถัดไป จนสิ้นสุดโปรแกรม ประเมินระดับความวิตกกังวลก่อนการทดลอง หลังการทดลองที่ 3 และ 6 สัปดาห์ โดยใช้แบบประเมินความวิตกกังวลขณะเผชิญ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา และสถิติความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ ผลการวิจัย: กลุ่มทดลอง มีค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลหลังเข้าร่วมโปรแกรมครบ 3 และ 6 สัปดาห์ ต่ำกว่าก่อนได้รับโปรแกรมและต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001, p < .001$ ตามลำดับ) ข้อเสนอแนะ: ควรสนับสนุนการจัดโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯให้เป็นส่วนหนึ่งของการพยาบาลปกติเพื่อบรรเทาความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับเคมีบำบัด

คำสำคัญ: มะเร็งปอด เคมีบำบัด ความวิตกกังวล โปรแกรมสมาธิบำบัด

ABSTRACT

Objective: This study aims to compare the anxiety score in lung cancer patients receiving chemotherapy, before and after participating in the nursing care program integrating SKT meditation (the NCPI-SKTM). Additionally, to compare the anxiety score in the group after receiving the NCPI-SKTM, with the group receiving usual care. The method of this study was of a two-group-quasi-experimental design. Twenty-eight participants were assigned by block randomization into the experimental group and the control group (n = 14). The experimental group received the NCPI-SKTM (practice SKT 1 and SKT 7 four times per day for 6 weeks), combined with usual care; while the control group (n = 14) received only usual care. The participants were followed-up by telephone on the 1st , 2nd , 3rd, weeks 2, 4 and 1 day before the next schedule until the trial was over. Anxiety was measured 3 times (before, 3 and 6 weeks after the intervention) by the State Anxiety. The data was analyzed by descriptive statistics, and two ways repeated measure ANOVA. Results: The experimental group, after completion of the NCPI-SKTM, had a mean anxiety score significantly lower than that before the experiment ($p < .001$, $p < .001$) and significantly lower than the control group. Conclusion: the NCPI-SKTM should be applied as a complementary care in order to relief anxiety for lung cancer patients, who are suffering from the side-effects of chemotherapy treatment.

Keywords: Lung Cancer, Chemotherapy, Anxiety, Meditation Program

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปี พ.ศ. 2563 องค์กรวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC, 2020) รายงานว่ามีจำนวนประชากรโลกที่เป็นโรคมะเร็งรายใหม่ 19.29 ล้านราย และมะเร็งปอดมากเป็นอันดับสอง จำนวน 2.20 ล้านราย อัตราการตายจากมะเร็งปอดจำนวน 1.79 ล้านราย สำหรับประเทศไทย พบจำนวนผู้ป่วยมะเร็งปอดมากเป็นอันดับหนึ่ง มีจำนวน 23,713 ราย (IARC, 2020) ผู้ป่วยมะเร็งปอดส่วนใหญ่จะมาพบแพทย์เมื่อโรคมีอาการลุกลามและแพร่กระจาย ทำให้มีอัตราการเสียชีวิตร้อยละ 90 ในระยะ 1-2 ปี อัตราการรักษาและอัตราการรอดชีวิตใน 5 ปี ต่ำประมาณร้อยละ 4-17 (Hirsch, 2017) โรคมะเร็งปอดมีการลุกลามเร็ว การรักษาด้วยเคมีบำบัดที่ใช้เวลานานและต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้ป่วยมะเร็งปอดมีความวิตกกังวลในระดับสูง ผู้ป่วยร้อยละ 47 มีความวิตกกังวลเกี่ยวกับอาการข้างเคียงของเคมีบำบัด พบได้ตั้งแต่การรับเคมีบำบัดครั้งแรกต่อเนื่องจนรักษาครบ โดยพบว่าผู้ป่วยที่มีความวิตกกังวลในระดับสูงก่อนมารับเคมีบำบัดในแต่ละครั้ง เกิดจากความกลัวต่ออาการข้างเคียงจากเคมีบำบัด เนื่องจากขาดความรู้เรื่องโรคและการรักษา การดูแลตนเอง และการปฏิบัติตัวในระหว่างการรักษาเพื่อลดอาการข้างเคียงและภาวะแทรกซ้อนจากเคมีบำบัด มีหลายการศึกษาเพื่อหาแนวทางจัดการความวิตกกังวล ได้แก่ สมาธิบำบัดแบบการเจริญสติ (Mirmahmoodi et al., 2020) โยคะ ชี่กง (จรินทร์ พวกยะ และสุรีพร ธนศิลป์, 2556) และการผ่อนคลายกล้ามเนื้อแบบก้าวหน้า (Charalambous et al., 2015) เป็นต้น ซึ่งในหลายการศึกษาที่ผ่านมา หากต้องการให้ลดความวิตกกังวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้ป่วยต้องได้รับการฝึกฝนที่เหมาะสมจากผู้ที่มีความชำนาญเฉพาะทักษะนั้นๆ ซึ่งสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ เป็นการทำสมาธิแบบสมถะร่วมกับออกกำลังกายแบบยืดเหยียดกล้ามเนื้อ ควบคุมประสาทสัมผัสร่วมกับฝึกลมหายใจผสมผสานกัน การปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ มีกลไกในการช่วยลดความวิตกกังวล โดยเมื่อร่างกายเข้าสู่สมาธิจะมีการยับยั้งระบบประสาทซิมพาเธติก (sympathetic) ทำให้ระดับ

นอร์อิพิเนฟริน (norepinephrine) ระดับแลคเตท (lactate) ในเลือดลดลงส่งผลให้ระดับความวิตกกังวลลดลง อีกทั้งการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ เป็นการปรับรูปแบบการหายใจ ร่วมกับการเคลื่อนไหวของแขนและมือ ใช้กล้ามเนื้อหน้าท้องร่วมกับกระบังลม ช่วยเพิ่มสมรรถภาพปอด ปริมาตรความจุปอด ทำให้ลดการใช้ออกซิเจน และเพิ่มการขับออกคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเหมาะสำหรับผู้ป่วยมะเร็งปอด

ในปี 2557-2561 โรงพยาบาลสงขลานครินทร์ มีผู้ป่วยมะเร็งปอดเพิ่มขึ้นโดยพบมากเป็นอันดับหนึ่งในเพศชาย และได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัด ทำให้ผู้ป่วยมีความวิตกกังวลต่ออาการข้างเคียงจากเคมีบำบัดและยังไม่มีการศึกษาการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ ในการลดความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัด ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการพยาบาลผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดเพื่อป้องกันและบรรเทาความวิตกกังวล ซึ่งการช่วยเหลือผู้ป่วยให้มีความวิตกกังวลลดลง จะส่งผลให้ผู้ป่วยเกิดอาการคลื่นไส้อาเจียนซึ่งเป็นความทุกข์ทรมานที่สุดของผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัดลดลงด้วยเช่นเดียวกัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

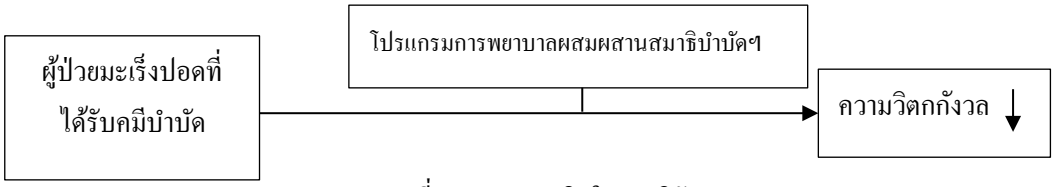
เพื่อเปรียบเทียบระดับความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดก่อนและหลังการร่วมโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ และเปรียบเทียบระดับความวิตกกังวลในกลุ่มหลังได้รับโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ กับกลุ่มที่ได้รับการพยาบาลปกติ

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรอบแนวคิดในการวิจัยนี้ พัฒนาขึ้นภายใต้กรอบแนวคิดทฤษฎีจิตประสาทภูมิคุ้มกันวิทยา (psychoneuroimmune) ผสมผสานหลักการการเยียวยาด้วยสมาธิบำบัดเอสเคที ซึ่งพัฒนาโดย รศ.ดร.สมพร กันทรดุษฎี เตรียมชัยศรี ร่วมกับหลักการพยาบาลผู้ป่วยมะเร็ง มุ่งเน้นการสร้างสัมพันธภาพ การให้ข้อมูลเกี่ยวกับภาวะสุขภาพ การเปิดโอกาสให้ระบายความรู้สึก การสนับสนุนทางจิตใจ การส่งเสริมให้มีทักษะในการจัดการอาการเพื่อใช้ป้องกันและบรรเทาความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัด โดยทฤษฎีจิตประสาทภูมิคุ้มกันวิทยา กล่าวว่า ร่างกาย ความคิด และจิตใจของมนุษย์ มีความสลับซับซ้อนและมีการเชื่อมโยงและติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกัน สิ่งที่เกิดในระบบประสาทส่วนกลางมีผลต่อร่างกายโดยผ่านการควบคุมของระบบประสาท ระบบภูมิคุ้มกัน และระบบต่อมไร้ท่อ ซึ่งเป็นการสื่อสารสองทาง คือ การเปลี่ยนแปลงทางร่างกาย จะมีผลกระทบต่อระบบประสาทและจิตใจเช่นกัน ในช่วงที่บุคคลมีความวิตกกังวล ความเครียดหรือซึมเศร้า ทำให้ร่างกายเกิดการหลั่งฮอร์โมนคอร์ติซอล (cortisol) เข้าสู่กระแสเลือดและสมอง ทำให้มีผลต่อร่างกายระบบต่างๆ รวมทั้งกระทบต่อภาวะสุขภาพ ซึ่งหลักพื้นฐานของการเยียวยาด้วยสมาธิบำบัดเอสเคที (สมพร เตรียมชัยศรี, 2561) คือ การกำหนดลมหายใจ ซึ่งสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ มีกลไกในการช่วยลดความวิตกกังวล โดยเมื่อร่างกายเข้าสู่สมาธิเกิดการกระตุ้นอามิกดาลา (amygdala) ไฮโปทาลามัส (hypothalamus) และระบบประสาทพาราซิมพาเธติก (parasympathetic) ยับยั้งระบบประสาทซิมพาเธติกมีผลทำให้ระดับนอร์อิพิเนฟรินและแลคเตทในเลือดลดลง ร่างกายมีการหลั่งสารเบต้าเอนดอร์ฟิน (beta endorphin) ซึ่งมีคุณสมบัติคล้ายมอร์ฟีน ทำให้ร่างกายสดชื่นผ่อนคลาย ในระหว่างการทำสมาธิจึงทำให้จิตใจสงบลงได้ ส่งผลให้ระดับความวิตกกังวลลดลง

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

(1) ระดับความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดหลังได้รับโปรแกรมฯ ต่ำกว่าก่อนเข้าร่วมโปรแกรมฯ

(2) ระดับความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดกลุ่มที่เข้าร่วมโปรแกรมฯ ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการพยาบาลปกติ

ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัด SKT 1 และ 7 ต่อความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมี ระหว่างเดือน กันยายน พ.ศ. 2564 ถึงเดือน เมษายน พ.ศ. 2565

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (quasi-experimental research) แบบสองกลุ่มวัดผลก่อนและหลัง (two group pre-posttest design)

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้ป่วยมะเร็งปอดที่มารับบริการ ณ คลินิกอายุรกรรม คลินิกเฉพาะโรคปอด หน่วยโรคระบบหายใจและภาวะวิกฤตระบบหายใจ และศูนย์ให้ยาเคมีบำบัด ณ โรงพยาบาลทุติยภูมิแห่งหนึ่งในภาคใต้

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยมะเร็งปอดชนิดเซลล์ไม่เล็กในระยะ IIIB และระยะ IV และผู้ป่วยมะเร็งปอดชนิดเซลล์เล็กในระยะ limited diseased และระยะ extensive diseased ที่ได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัดทางหลอดเลือดดำในชุดที่ 1 เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) โดยมีอายุ 18 - 75 ปี สามารถช่วยเหลือตนเองได้ มีระดับความวิตกกังวลที่ประเมินจากแบบวัดความวิตกกังวลเผชิญ อยู่ในระดับปานกลางหรือมีค่าคะแนน 41 – 60 คะแนน ไม่มีอาการของโรคลุกลาม และไม่เคยมีประสบการณ์การฝึกสมาธิบำบัดเอสเคทีหรือสมาธิแบบอื่นๆ มาก่อน

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง กำหนดค่าอำนาจในการทดสอบ (power analysis) ที่ .80 ความคลาดเคลื่อนเท่ากับ .05 (Polit & Beck, 2017) คำนวณขนาดอิทธิพลจากการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งเป็นงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้ (นงนุช จิตรารัชต์ และคณะ, 2560) ได้ค่าขนาดอิทธิพลเท่ากับ 0.72 และเปิดตารางของโพลิทและเบค (Polit & Beck, 2017) ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มละ 22 คน รวม 44 คน แต่เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 ทำให้ได้ศึกษาในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดจำนวนน้อยกว่าแผนที่วางไว้ เป็นกลุ่มละ 14 คน ซึ่งอาจทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า .05

4.3 เครื่องมือวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง ผ่านการตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย 1) โปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคที ฯ มีค่าความตรงตามเนื้อหาเท่ากับ 1.0 2) คู่มือการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ มีค่าความตรงตามเนื้อหาเท่ากับ 1.0 และ 3) คลิปวิดีโอแสดงขั้นตอนและวิธีปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ มีค่าความตรงตามเนื้อหาเท่ากับ 1.0

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วย 1) แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลและข้อมูลสุขภาพ และ 2) แบบประเมินความวิตกกังวล ใช้แบบประเมินความวิตกกังวล The State-Trait Anxiety Inventory Form Y: STAI Form Y ของสปิลเบอร์เกอร์และคณะ (spielberger et al., 1983) โดยใช้แบบประเมินความวิตกกังวลขณะเผชิญ (The State Anxiety) มีค่าความเที่ยงของเครื่องมือโดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาคเท่ากับ 0.94

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ภายหลังได้รับผ่านการรับรองจากกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ รหัสโครงการ REC. 64-254-19-9 ผู้วิจัยอธิบายขั้นตอนการเก็บข้อมูล ประโยชน์และความเสี่ยงของการเข้าร่วมการวิจัย การพิทักษ์สิทธิ์ของผู้เข้าร่วมวิจัยแก่กลุ่มตัวอย่าง

2. ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยในกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองแยกเป็นคนละวัน มีรายละเอียดของกิจกรรมในระหว่างการทดลอง ดังนี้

กลุ่มควบคุม

1. สัปดาห์ที่ 1 (วันที่รับเคมีบำบัดรอบที่ 1) ผู้ป่วยได้รับการพยาบาลปกติจากทีมสุขภาพ

2. สัปดาห์ที่ 1 (หลังได้รับเคมีบำบัดรอบที่ 1) ผู้วิจัยโทรศัพท์สอบถามผู้ป่วยทุกคนเพื่อสอบถามอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นหลังได้รับเคมีบำบัด โดยในวันที่ 1, 2, 3 สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 1 วัน ก่อนวันนัดครั้งถัดไป

3. สัปดาห์ที่ 4 วันนัดประเมินผลหลังการทดลองครั้งที่ 1 (1 วันก่อนรับเคมีบำบัดรอบที่ 2) ทำการประเมินความวิตกกังวลขณะเผชิญ

4. สัปดาห์ที่ 7 วันนัดประเมินผลครั้งที่ 2 (1 วันก่อนรับเคมีบำบัดรอบที่ 3) ประเมินความวิตกกังวลขณะเผชิญมอบคู่มือการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีที่บ้าน และทำการฝึกปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ ให้กับผู้ป่วยที่ต้องการ

กลุ่มทดลอง

1. สัปดาห์ที่ 1 (1 วันก่อนรับเคมีบำบัด) ผู้วิจัยชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับโปรแกรมฯ ประกอบด้วยข้อมูลความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับโรคมะเร็งปอด การรักษา และสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ ฝึกปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ โดยใช้คลิปวีดิโอ และผู้ป่วยกลับไปปฏิบัติต่อเนื่องที่บ้านทุกวัน ในระยะเวลา 6 สัปดาห์ ปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคที 1 วันละ 2 ครั้ง เวลาเช้าและก่อนนอน สมาธิบำบัดเอสเคที 7 วันละ 2 ครั้ง เวลากลางวันและเย็น และการบันทึกข้อมูลการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ

2. สัปดาห์ที่ 1 (วันที่รับเคมีบำบัดรอบที่ 1) ผู้ป่วยได้รับการพยาบาลปกติจากศูนย์ให้เคมีบำบัด

3. ผู้วิจัยโทรศัพท์สอบถามเพื่อติดตามความต่อเนื่องและเพื่อเป็นการกระตุ้นให้ปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ โดยโทรศัพท์ในวันที่ 1, 2, 3 สัปดาห์ที่ 2, 4 และ 1 วัน ก่อนวันนัดครั้งถัดไป

4. สัปดาห์ที่ 4 นัดประเมินผลครั้งที่ 1 (1 วันก่อนรับเคมีบำบัดรอบที่ 2) ตรวจสอบความต่อเนื่อง ปัญหาและอุปสรรคและการบันทึกการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ หาแนวทางแก้ไขที่เหมาะสมและแจ้งกำหนดการประเมิน

5. สัปดาห์ที่ 7 นัดประเมินผลครั้งที่ 2 (1 วันก่อนรับเคมีบำบัดรอบที่ 3) สรุปข้อมูลจากแบบบันทึกการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ และเน้นย้ำให้ปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้มีผลในการช่วยลดความวิตกกังวล

กลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม ได้รับการประเมินแบบสอบถามความวิตกกังวลขณะเผชิญ ในสัปดาห์ที่ 1 ก่อนรับเคมีบำบัดรอบที่ 1 สัปดาห์ที่ 4 ก่อนรับเคมีบำบัดรอบที่ 2 และสัปดาห์ที่ 7 ก่อนรับเคมีบัดรอบที่ 3

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยด้วยสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบความแตกต่างระว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยใช้สถิติไคสแควร์ (chi-square test) และ Fisher's Exact Test กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 คะแนนเฉลี่ยความวิตกกังวลที่ได้ไปทดสอบข้อตกลงเบื้องต้น พบว่ามีการกระจายเป็นโค้งปกติ มีความแปรปรวนระหว่างกลุ่มแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และมีความแปรปรวนระหว่างการวัดซ้ำครั้งที่ 1, 2 และ 3 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และแปลผลสถิติความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (two-way repeated measured ANOVA) และทดสอบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni

5. ผลการวิจัย

กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 42.86 และร้อยละ 71.43 ตามลำดับ มีอายุเฉลี่ย 62.60 ปี (SD = 9.43) และ 63.14 ปี (SD = 6.54) ตามลำดับ ส่วนใหญ่ได้รับการวินิจฉัยเป็นมะเร็งปอดชนิดเซลล์ไม่เล็ก ได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัดสูตรคาร์โบพลาติน (carboplatin) และแพคลิแทคเซล (paclitaxel) มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 85.7 ส่วนใหญ่ไม่มีโรคประจำตัวร้อยละ 82.1 และมีความวิตกกังวลเกี่ยวกับความเจ็บป่วยอาการของโรคและอาการข้างเคียงจากเคมีบำบัดร้อยละ 82.1 เมื่อทดสอบความแตกต่างของคุณลักษณะข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วยของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$)

ผลการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานการวิจัยข้อที่ 1 ระดับความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดหลังได้รับโปรแกรมฯ ต่ำกว่าก่อนเข้าร่วมโปรแกรมฯ ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญหลังการทดลองครั้งที่ 1 สูงกว่าก่อนการทดลอง (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (N = 28)

กลุ่มตัวอย่าง	ก่อนการทดลอง		หลังการทดลอง ครั้งที่ 1		หลังการทดลอง ครั้งที่ 2	
	M	*SD*	*M*	*SD*	*M*	*SD*
กลุ่มควบคุม (n = 14)	50.36	3.92	53.36	3.43	51.07	2.67
กลุ่มทดลอง (n = 14)	48.79	4.39	39.14	4.91	36.00	5.38

เมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างแต่ละช่วงเวลา ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญหลังการทดลองครั้งที่ 1 (M = 39.14, SD = 4.91) และหลังการทดลองครั้งที่ 2 (M = 36.00, SD = 5.38) ต่ำกว่าก่อนการทดลอง (M = 48.79, SD = 4.39) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F_{1.68,29.58 = 22.16}$, $p < .001$) ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญทั้ง 3 ช่วงเวลา ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F_{1.84,23.91\ 3.13}$, $p = .066$) (ตารางที่ 2) และเมื่อเปรียบเทียบเป็นรายคู่ในกลุ่มทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทุกคู่ ($p < .001$) (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 คะแนนเฉลี่ยความวิตกกังวลขณะเผชิญกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (N = 28)

แหล่งความแปรปรวน	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
กลุ่มทดลอง					
เวลา	1242.905	1.684	738.021	22.161[a]	.000
ความคลาดเคลื่อน	729.095	21.893	33.302		
กลุ่มควบคุม					
เวลา	68.762	1.839	37.392	3.127[b]	.066
ความคลาดเคลื่อน	285.905	23.906	11.959		

SS = Sum Square; df = degree of freedom; MS = Mean Square [a] = Greenhouse-Geisser correction was used to reduce type error; [b] = Sphericity Assumed, $p < .05$

ตารางที่ 3 ความแตกต่างค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญภายในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม เป็นรายคู่ โดยใช้สถิติ Bonferroni (N = 28)

ระยะการวัด	ผลต่างค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวล	
	กลุ่มทดลอง	กลุ่มควบคุม
ก่อนการทดลอง-หลังการทดลองครั้งที่ 1	9.643*	-3.000
ก่อนการทดลอง-หลังการทดลองครั้งที่ 2	12.786*	-.714
หลังการทดลองครั้งที่ 1-หลังการทดลองครั้งที่ 2	3.143*	2.286

* $p < .05$

สมมติฐานข้อที่ 2 ระดับความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัดกลุ่มที่ได้รับโปรแกรมฯ ต่ำกว่ากลุ่มที่ได้รับการพยาบาลปกติ ($F_{1.78,\ 46.32} = 20.49$, $p < .001$) (ตารางที่ 4) และเมื่อเปรียบเทียบผลต่างของค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลเป็นรายคู่ พบว่า ผลต่างค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลหลังการทดลองครั้งที่ 1 และหลังการทดลองครั้งที่ 2 ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นก่อนการทดลองระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 4 ความแตกต่างค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมด้วยสถิติความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (N = 28)

แหล่งความแปรปรวน	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*p*
ระหว่างกลุ่ม (Group)	2221.714	1	2221.714	155.940	.000
ความคลาดเคลื่อน	370.430	26	14.247		
ภายในกลุ่ม (Time)	511.738	1.780	287.273	13.110[e]	.000
ความคลาดเคลื่อน	1015.000	46.320	21.915		
ภายในกลุ่ม * ระหว่างกลุ่ม					
Time * Group	799.929	1.781	449.053	20.491[e]	.000
Error	1015.000	46.316	21.915		

SS = Sum Square; df = degree of freedom; MS = Mean Square [e] = Greenhouse-Geisser Statistic

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญภายในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ระหว่างก่อนทดลอง หลังการทดลองครั้งที่ 1 และหลังการทดลองครั้งที่ 2 เป็นรายคู่โดยใช้สถิติ Bonferroni (N = 28)

	ผลต่างค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม	*p-value*
ก่อนการทดลอง	1.57	0.33
หลังการทดลองครั้งที่ 1	14.21	< .001
หลังการทดลองครั้งที่ 2	15.07	< .001

6. อภิปรายผล

ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญหลังได้รับโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดฯ ต่ำกว่าก่อนได้รับโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดฯอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .001$) เป็นผลจากกลุ่มทดลองที่ได้รับการฝึกสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ โดยเมื่อร่างกายเข้าสู่สมาธิ จะกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารสื่อประสาทหรือฮอร์โมนเบต้าเอนดอร์ฟิน ซึ่งเป็นสารลดการเร้าทางอารมณ์ ทำให้รู้สึกมีความสุข ผ่อนคลาย โดยความรู้สึกมีความสุขและผ่อนคลายนี้จะช่วยลดการสร้างสารสื่อประสาทและยับยั้งการทำงานของระบบประสาทซิมพาเธติก มีผลทำให้ระดับนอร์อิพิเนฟริน ซีโรโทนิน (serotonin) กาบ้า (gamma amino butyric acid: GABA) แลคเตทในเลือดลดลง จึงทำให้จิตใจสงบลงส่งผลให้ระดับความวิตกกังวลลดลง และยังทำให้ร่างกายเพิ่มการหลั่งกลูตาเมต (glutamate) ลดการหลั่งคอร์ติซอล ทำให้ความเครียดลดลง สมองเกิดการผ่อนคลายทำให้ความวิตกกังวลลดลง (ปรมาภรณ์ จุลบุตร, 2560; ปรียา แก้วพิมลและคณะ, 2557; มาลีจิตร์ ชัยเนตร, 2565; อรสา ปิ่นแก้ว และคณะ, 2564; Rhodes, 2015) ในการศึกษาประสิทธิผลของชี่กงในการจัดการกลุ่มอาการ (หายใจลำบาก-เหนื่อยล้า-วิตกกังวล) ในผู้ป่วยมะเร็งปอดในระยะเวลา 6 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า ผู้ป่วยมะเร็งปอดหลังฝึกชี่กงมีความวิตกกังวลที่มีแนวโน้มลดลง ($p < .049$) (นงนุช จิตรารัชต์ และคณะ, 2560; Greer et al., 2015; Molassiotis et al., 2021; Vu Van, 2019) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของอานาปานสติสมาธิต่อผู้ที่ความวิตกกังวลระดับปานกลาง ผลการศึกษา พบว่า หลังการทดลองคะแนนความวิตกกังวลขณะเผชิญของกลุ่มทดลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (Sivaramappa et al., 2019) ซึ่ง อานาปานสติสมาธิส่งผลให้

จิตตั้งมั่น เกิดสมาธิ ร่างกายหลั่งสารเบต้าเอนดอร์ฟิน ทำให้ร่างกายมีภาวะผ่อนคลาย มีความมั่นคงทางอารมณ์ สดชื่นและสุขสบาย จากการศึกษาอธิบายได้ว่าหลังจากผู้ป่วยมะเร็งปอดเมื่อได้รับกิจกรรมจากโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดฯ การให้คู่มือการปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ สมุดคู่มือช่วยให้ผู้ป่วยสามารถศึกษาเพิ่มเติมกรณีไม่สามารถจดจำลำดับการฝึกปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีแต่ละท่าได้ การโทรศัพท์ติดตามความต่อเนื่องในการฝึกปฏิบัติอีกทั้งการให้คำแนะนำเกี่ยวกับโรคมะเร็งปอด การรักษา การจัดการอาการจากโรคที่ผู้ป่วยมีปัญหาในแต่ละวันรวมทั้งอาการข้างเคียงต่าง ๆ จากเคมีบำบัด ส่งผลให้ผู้ป่วยมีความวิตกกังวลลดลงจึงพยายามฝึกปฏิบัติสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ แต่ละท่าอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ด้วยกลไกของสมาธิบำบัดเอสเคทีฯ ในขณะปฏิบัติจะมีการหลั่งสารสื่อประสาทกลูตาเมท ซึ่งมีผลทำให้การรับรู้ต่อสิ่งเร้าลดลงการหายใจลดลง การเผาผลาญออกซิเจนลดลงและความวิตกกังวลลดลง (นงนุช จิตรารัชต์ และคณะ, 2560)

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ควรสนับสนุนการจัดโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีฯให้เป็นส่วนหนึ่งของการพยาบาลปกติเพื่อบรรเทาความวิตกกังวลในผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับเคมีบำบัด

(2) ในการพัฒนาบุคลากรควรมีกิจกรรมการฝึกสมาธิบำบัดเอสเคทีและมีการนำแนวทางสมาธิบำบัดเอสเคทีฯไปประยุกต์ใช้ในการบริการพยาบาลผู้ป่วยกลุ่มมะเร็งและโรคเรื้อรังที่มีปัญหาใกล้เคียงกับกลุ่มที่ศึกษา

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและทำการศึกษาระยะยาวเพื่อประเมินความยั่งยืนของโปรแกรมตลอดระยะของการได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัด

(2) ควรมีการพัฒนาและการศึกษาผลของโปรแกรมการพยาบาลผสมผสานสมาธิบำบัดเอสเคทีเพื่อบรรเทาอาการและภาวะแทรกซ้อนจากโรคและการรักษา ที่พบได้ในผู้ป่วยมะเร็งปอด เช่น อาการหายใจลำบาก อาการเหนื่อยล้า อาการท้องผูก ความเครียด เป็นต้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ที่สามารถดำเนินการและสำเร็จลุล่วงไปได้ดีเนื่องจาก ได้รับความอนุเคราะห์สนับสนุนทุนการศึกษาจากคณะแพทยศาสตร์ และทุนสนับสนุนงานวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

9. เอกสารอ้างอิง

จรินทร์ พวกยะ และสุรีพร ธนศิลป์. (2556). ผลของการจัดการอาการที่เน้นการบริหารกายจิตแบบชี่กง ต่อความวิตกกังวลและความปวดในผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัดช่องท้องแบบฉุกเฉิน. *วารสารสำนักการแพทย์ทางเลือก, 6*(1), 1-19.

นงนุช จิตรารัชต์, สุรีพร ธนศิลป์, และนพมาศ พัดทอง. (2560). ผลของโปรแกรมการจัดการอาการร่วมกับการปฏิบัติสมาธิต่ออาการหายใจลำบากในผู้ป่วยมะเร็งปอดที่ได้รับเคมีบำบัด. *วารสารพยาบาลสงขลานครินทร์, 37*(1), 24-37.

ปรมาภรณ์ จุลบุตร. (2560). *ผลของโปรแกรมการผ่อนคลายร่วมกับการให้ข้อมูลต่อความวิตกกังวล และความปวดในผู้ป่วยที่ได้รับการถอดท่อระบายทรวงอก.* (วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการพยาบาลผู้ใหญ่). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ปรียา แก้วพิมล, วิไลพร สมานกสิกรณ์, ปราณี พงศ์ไพบูลย์, วัฒนา ศรีพจนารถ, ถนอมศรี อินทนนท์, พินนภายง เกียรติไพบูลย์, และอุไรรัตน์ หน้าใหญ่. (2557). ประสบการณ์นักศึกษาพยาบาลในโปรแกรมพลังบำบัดเรกิและการภาวนา: การตื่นรู้เพื่อเข้าใจผู้หญิงท้องไม่พร้อม. *วารสารพฤติกรรมศาสตร์, 20*(1), 97-110.

มาลีจิตร์ ชัยเนตร. (2565). ผลของโปรแกรมการฝึกสมาธิบำบัดเพื่อการเยียวยาแบบเอสเคทีต่อความเครียดและอาการหายใจลำบากของผู้ป่วยปอดอุดกั้นเรื้อรัง. *วารสารวิจัยการพยาบาลและการสาธารณสุข, 2*(1), 15-27.

สมพร กันทรดุษฎี เตรียมชัยศรี. (2561). *การปฏิบัติสมาธิเพื่อการเยียวยาสุขภาพ.* (พิมพ์ครั้งที่ 15). นนทบุรี: กองการแพทย์ทางเลือก กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข.

อรสา ปิ่นแก้ว, วารี กังใจ, และสหัทยา รัตนจรณะ. (2564). ผลของโปรแกรมการจัดการกับอาการร่วมกับสมาธิบำบัดต่ออาการหายใจลำบากความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดและความวิตก กังวลของผู้สูงอายุโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง. *วารสารคณะพยาบาลศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา, 29*(2), 59-70.

Charalambous, A., Giannakopoulou, M., Bozas, E., & Paikousis, L. (2015). A randomized controlled trial for the effectiveness of progressive muscle relaxation and guided imagery as anxiety reducing interventions in breast and prostate cancer patients undergoing chemotherapy. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine,* 2015, 1-10.

Greer, J. A., MacDonald, J. J., Vaughn, J., Viscosi, E., Traeger, L., McDonnell, T., Pirl, W. F., & Temel, J. S. (2015). Pilot Study of a Brief Behavioral Intervention for Dyspnea in Patients with Advanced Lung Cancer. *Journal of Pain and Symptom Management, 50*(6), 854–860.

Hardoerfer, K., & Jentschke, E. (2018). Effect of yoga therapy on symptoms of anxiety in cancer patients. *Oncology Research and Treatment, 41(9),* 526-532.

Hirsch, F. R., Scagliotti, G. V., Mulshine, J. L., Kwon, R., Curran, W. J., Jr, Wu, Y. L., & Paz-Ares, L. (2017). Lung cancer: Current therapies and new targeted treatments. *Lancet (London, England), 389*(10066), 299–311. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30958-8

International Agency Research on Cancer. (2020). *Global cancer observatory*. Retrieved from https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie

Mirmahmoodi, M., Mangalian, P., Ahmadi, A., & Dehghan, M. (2020). The Effect of Mindfulness-Based Stress Reduction Group Counseling on Psychological and Inflammatory Responses of the Women with Breast Cancer. *Integrative Cancer Therapies,* 19, 1-9.

Molassiotis, A., Vu, D. V., & Ching, S. S. Y. (2021). The effectiveness of qigong in managing a cluster of symptoms (breathlessness-fatigue-anxiety) in patients with lung cancer: A randomized controlled trial. *Integrative Cancer Therapies,* 20, 1-12.

Polit, D. F., & Beck, C. T. (2017). *Nursing research: Generating and assessing evidence for nursing practice (10th Ed)*. Philadelphia: Wolters Kluwer.

Rhodes, R. A. (2015). *The efficacy of Reiki treatments in reducing state anxiety.* (Doctoral dissertation, Capella University). Retrieved from https://search.proquest.com/docview/1698458881?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true

Sivaramappa, B., Deshpande, S., Kumar, P., & Nagendra, H. R. (2019). Effect of Anapanasati meditation on anxiety: A randomized control trial. *Annals of Neurosciences, 26*(1), 32–36.

Yudono, D. T. (2020). The effect of progressive muscle relaxation therapy on anxiety of patients with chemotherapy measures at Dadi Keluarga Hospital Banyumas. *In 1st International Conference on Community Health* (ICCH 2019) (54-58). Atlantis Press.

การเปรียบเทียบวิธีการผลิตไซรัปบัวหิมะที่เหมาะสมโดยวิธีการทำไซรัปแบบดั้งเดิมและวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ

A COMPARISON BETWEEN TRADITIONAL AND VACUUM EVAPORATION PROCESSES OF YACON SYRUP PRODUCTION

ปาริชาติ อยู่แพทย์
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร
E-mail: vanilla.somza@gmail.com
วิมลวรรณ วัฒนวิจิตร
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร
E-mail: pwimonwan@hotmail.com
กนกศักดิ์ ลอยเลิศ
กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร
E-mail: sakagro@hotmail.com

บทคัดย่อ

บัวหิมะ (*Smallanthus sonchifolius*) เป็นพืชหัวใต้ดินคล้ายมันเทศ แต่มีความหนาแน่นของแป้งน้อยกว่ามันเทศ มีส่วนประกอบหลัก คือ น้ำร้อยละ 84.74 และคาร์โบไฮเดตรร้อยละ 13.82 ให้พลังงาน 58.95 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนัก 100 กรัม นำมาผลิตไซรัปเพื่อเป็นสารให้ความหวานแทนน้ำตาลที่มีฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์สูง โดยเปรียบเทียบวิธีการทำเข้มข้นไซรัปบัวหิมะ 2 วิธี คือ การทำเข้มให้เข้มข้นแบบดั้งเดิมโดยต้มระเหยน้ำออกอุณหภูมิในการต้มไม่เกิน 100 องศาเซลเซียสและการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำเข้มข้นจนกระทั่งไซรัปมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด 70°Bx ผลการทดลอง พบว่า ผู้ทดสอบร้อยละ 83.33 ให้การยอมรับไซรัปที่ใช้วิธีทำเข้มข้นแบบดั้งเดิมเนื่องจากตัวอย่างมีกลิ่นรสดีกว่าไซรัปที่ใช้วิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศที่มีผู้ยอมรับเพียงร้อยละ 20.64 ศึกษาส่วนประกอบสารอาหาร พบว่า ไซรัปบัวหิมะที่ได้จากทั้งสองวิธีไม่มีความแตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีปริมาณพลังงานทั้งหมดเท่ากับ 196.54-206.37 กิโลแคลอรี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 73.69-75.54 ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ร้อยละ 25.29-26.30 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 41.33-47.28 ค่า pH 4.97-5.32 และการผลิตไซรัปบัวหิมะจะมีการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำบัวหิมะในขั้นตอนการคั้นน้ำอย่างรวดเร็วส่งผลให้ไซรัปมีสีคล้ำ(L^*=27.82, a^*=5.10, b^*=-6.47) จึงได้ศึกษาวิธียับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน พบว่า การใช้กรดแอสคอร์บิก 0.15 กรัมต่อบัวหิมะ 1 กิโลกรัม เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำบัวหิมะได้และส่งผลให้ไซรัปมีสีสว่างขึ้นโดยมีค่า L^*=29.62, a^*=5.16, b^*=-5.22

คำสำคัญ: บัวหิมะ ไซรัปบัวหิมะ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

ABSTRACT

The yacon (*Smallanthus sonchifolius*) is an underground tuber which looks like a sweet potato, but contains a lower amount of flour. The majority of the chemical composition of the yacon root is 84.74% water and 13.82% carbohydrate. The caloric content is 58.95 kcal/100g. Yacon roots were produced as a high fructo-oligosaccharides syrup for an alternative sweetener. This research was conducted to compare the traditional process (≤ 100°C) and the vacuum evaporation process (60°C) of yacon syrup production. The evaporation process increased the concentration of soluble solids to 70°Bx. The results showed that 83.33% of consumers accepted the traditional yacon syrup because of a better flavour while only 20.64% of consumers accepted syrup from the vacuum evaporation process. The chemical composition of the yacon syrup from both processes were not significantly different ($p > 0.05$). They both contained 196.54-206.37 kcal of caloric contents, 73.69-75.54% of carbohydrates, 25.29-26.30% of fructo-oligosaccharides, 41.33-47.28% of total sugar with pH between 4.97-5.32. The colour of the yacon juice was originally a shade of orange, however, it turned dark green quickly which darken the colour of the syrup (L*=27.82, a*=5.10, b*=-6.47). The best way to avoid the darkening of the syrup is to prevent the enzymatic oxidation. Better results were obtained with the use of ascorbic acid at 0.15g for each kg of the yacon root that made the colour of the syrup lighter with L*=29.62, a*=5.16, b*=-5.22

KEYWORDS: Yacon, Yacon syrup, Fructo-oligosaccharides

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

บัวหิมะมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Smallanthus sonchifolius* ชื่อภาษาอังกฤษเรียกว่า Yacon เป็นพืชใต้ดินในตระกูลทานตะวัน ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้นำบัวหิมะมาปลูกมากบนพื้นที่สูง เช่น ภูทับเบิก จังหวัดเพชรบูรณ์ Grethel *et al*. (2013) ได้ศึกษาองค์ประกอบสารอาหารในบัวหิมะ พบว่า มีน้ำ (ร้อยละ 85-90) และคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 10) เป็นองค์ประกอบหลัก แต่คาร์โบไฮเดรตนี้ไม่ได้ถูกเก็บไว้ในรูปของแป้ง แต่ถูกเก็บไว้ในรูปของน้ำตาล ได้แก่ ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides; FOS) คิดเป็นร้อยละ 40-70 ฟรุกโตสร้อยละ 5-15 ซูโครสร้อยละ 5-15 และกลูโคสร้อยละ 5 โดยน้ำตาลที่พบมากในบัวหิมะ คือ FOS นั้นเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโมเลกุลขนาดกลาง (3-9 โมเลกุล) ละลายน้ำได้ดีแต่ไม่หนืด ให้พลังงานต่ำประมาณ 1-1.5 กิโลแคลอรีต่อกรัม และมีความหวานประมาณร้อยละ 30 ของน้ำตาลทราย (วรรณคล เชื้อมงคล, 2556) Sridevi *et al*. (2014) รายงานว่า FOS มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหาร โดยน้ำตาลชนิดนี้เกิดจากการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลน้ำตาลเชิงเดี่ยวด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยพันธะชนิดนี้ได้ ส่งผลให้เมื่อบริโภคน้ำตาลชนิดนี้เข้าไปจะไม่เกิดการแตกตัวให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ส่งผลให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น แต่พันธะนี้จะถูกย่อยโดยจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะช่วยให้การทำงานของระบบย่อยอาหารเป็นปกติหรือเสริมสร้างภูมิคุ้มกัน โดย FOS จะเป็นอาหารให้จุลินทรีย์กลุ่มนี้ส่งผลให้เติบโตและทำหน้าที่ได้ดี FOS จึงจัดว่าเป็นพรีไบโอติกหรืออาหารของจุลินทรีย์โพรไบโอติกส์ นอกจากนี้ บัวหิมะยังเป็นพืชที่มีแคลอรีไม่สูง โดยมีพลังงาน 54-60 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม (Brites and Noreña, 2014) ทำให้บัวหิมะเป็นอาหารในการลดน้ำหนักที่ได้รับความสนใจ ดังนั้น การนำบัวหิมะซึ่งเป็นพืชที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพโดยเฉพาะสารให้ความหวานที่มีพลังงานต่ำกว่าน้ำตาลและคุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติกซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายมาพัฒนาเป็น

สารให้ความหวานจากธรรมชาติแทนน้ำตาลที่สามารถใช้ได้ทั้งในอาหารและเครื่องดื่มจะสามารถช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ผลิตผลทางการเกษตรและเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้กับผู้บริโภคในการดูแลสุขภาพ สำหรับการผลิตไซรัปบัวหิมะมีขั้นตอนที่สำคัญ คือ การทำให้เข้มข้น ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งด้านสี กลิ่น รสชาติ ชนิดและปริมาณสารอาหาร ตลอดจนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2560) ปัจจุบันได้มีเทคนิคใหม่ ๆ สำหรับการทำให้เข้มข้น เช่น การระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศซึ่งจะช่วยรักษาคุณภาพให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้ดีโดยเฉพาะปริมาณสารอาหาร ขณะที่เทคนิคการให้ความร้อนเป็นเทคนิคที่ดีในการผลิตไซรัปมาอย่างยาวนานเนื่องจากไม่ต้องลงทุนสูง ง่ายต่อการผลิต ไม่ซับซ้อนและยังส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีโดยเฉพาะด้านกลิ่นรส ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาวิธีที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไซรัปจากบัวหิมะเพื่อให้มีพรีไบโอติกฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ โดยเปรียบเทียบระหว่างการทำให้เข้มข้นด้วยวิธีแบบดั้งเดิมและการระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่บัวหิมะซึ่งเป็นผลิตผลของเกษตรกรบนพื้นที่สูง สามารถสร้างอาชีพและเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรเพื่อกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน รวมถึงขยายตลาดการค้าของผลิตภัณฑ์จากบัวหิมะ โดยเน้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการผลิตที่สามารถเตรียมได้ง่าย ไม่ซับซ้อน เพื่อให้ง่ายต่อการส่งต่อเทคโนโลยีและนวัตกรรมจากกลุ่มผู้วิจัยสู่กลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการ และวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่สูงได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไซรัปบัวหิมะที่เหมาะสม

2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมีและคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) ประโยชน์ของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์

Sridevi *et al*. (2014) ได้รายงานว่า ฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ (Fructooligosaccharides : FOS) เป็นน้ำตาลที่มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหารและเกิดจากการเชื่อมต่อกันของโมเลกุลน้ำตาลเชิงเดี่ยวด้วยพันธะไกลโคซิดิก ซึ่งเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ไม่สามารถย่อยพันธะชนิดนี้ได้ ส่งผลให้เมื่อบริโภคน้ำตาลชนิดนี้เข้าไปจะไม่เกิดการแตกตัวให้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ทำให้น้ำตาลในเลือดสูงขึ้น แต่พันธะไกลโคซิดิกนี้จะถูกย่อยโดยแบคทีเรียที่มีอยู่ตามปกติในลำไส้ใหญ่ทำให้ได้กรดไขมันที่มีสายขนาดสั้น กรดแลคติก ก๊าซหลายชนิดและพลังงานเป็นอาหารให้แก่จุลินทรีย์ชนิดดีในลำไส้ใหญ่ ทำให้จุลินทรีย์ที่ดีในร่างกายเติบโตและทำหน้าที่ได้ดี เรียกได้ว่า FOS เป็นพรีไบโอติก การเสื่อมสลายของ FOS สามารถเกิดขึ้นได้จากการให้ความร้อนตั้งแต่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสขึ้นไปหรือค่า pH ตั้งแต่ 4.0 หรือต่ำกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เกิดน้ำตาลอิสระที่ให้พลังงานสูง

2) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหารและการป้องกัน

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนาปนนท์ (2560) ได้รายงานว่า ผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดมักจะเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเข้มหรือคล้ำมากขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลทั้งแบบที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์และไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ โดยแบ่งออกได้ 2 ชนิด ได้แก่

2.1) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ คือ ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบฟีนอล เอนไซม์ในกลุ่มฟีนอเลส เช่น polyphenol oxidase (PPO) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 5-7 และออกซิเจน

2.2) ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดและคาราเมลไล-เซชัน โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ กรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานำไปสู่การเกิดเม็ดสีน้ำตาลของเมลานอยดิน ขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโมเลกุลน้ำตาลด้วยความร้อนสูงและเกิดพอลิเมอร์ของสารประกอบคาร์บอนได้เป็นสารที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัว เรียกว่า คาราเมล

2.3) การป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ สามารถทำได้โดยการทำให้เอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนเสียสภาพธรรมชาติ ด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ การใช้ความร้อน เช่น การลวก การใช้สารเคมี ได้แก่ กรดคาร์บอกซีลิก กรดแอสคอร์บิกและอนุพันธ์ กรดฟีนอลิก เกลือ เป็นต้น การใช้ Chelating agent เช่น EDTA เพื่อจับกับโลหะที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของเอนไซม์การใช้สารรีดิวซิงเอเจนต์ (reducing agent) เช่น สารซัลไฟต์กรดอิริทอร์เบต และเกลือของกรดอิริทอร์เบต การป้องกันไม่ให้สัมผัสกับออกซิเจน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วัตถุดิบ

บัวหิมะจากภูทับเบิก ต.วังตาล อ.หล่มเก่า จ. เพชรบูรณ์ คัดเลือกหัวที่ไม่มีรอยแตก ไม่มีเชื้อรา ไม่เหี่ยวหรือลีบ มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำทั้งหมด (Total Soluble Solids; TSS) อยู่ระหว่าง 9-10°Bx ขนส่งมาที่ห้องปฏิบัติการทางอาหาร กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตเกษตร กรมวิชาการเกษตร เพื่อเตรียมไซรัป

4.2 อุปกรณ์

เครื่องคั้นแยกกาก-น้ำระบบไฮโดรลิก รุ่น 12 TURBO เครื่องระเหยแบบลดความดันภายใต้สุญญากาศ ยี่ห้อ Buchi รุ่น R-100 บริษัท บูชิ (ไทยแลนด์) จำกัด เครื่องวัดค่าสี Chroma meter รุ่น CR-400 ยี่ห้อ Konica Minolta เครื่องวัดความหนืด ยี่ห้อ Brookfield รุ่น DV-II เครื่องวัดค่า pH ยี่ห้อ Metrohm เครื่องวัดTSS ระบบดิจิตัล ยี่ห้อ Atago รุ่น PAL-3 0-93% Brix

4.3 วิธีการ

4.3.1 การทำให้ของเหลวเข้มข้น

คั้นน้ำบัวหิมะและนำไปทำให้เข้มข้นหรือระเหยน้ำออก 2 วิธี ได้แก่

1) วิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิม ใช้หม้อนึ่งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เทน้ำลงในหม้อนึ่งขนาดใหญ่ต้มให้เดือด จากนั้นเทน้ำที่คั้นจากบัวหิมะที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อใบเล็กปริมาตร 2 ใน 3 ของหม้อ นำไปตั้งในหม้อใบใหญ่ ต้มจนกระทั่งน้ำบัวหิมะที่ได้มีปริมาณ TSS 70°Bx

2) วิธีทำให้เข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ ระเหยแบบลดความดันภายใต้สุญญากาศอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระเหยแห้งจนกระทั่งน้ำบัวหิมะมีปริมาณ TSS 70°Bx

3) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปบัวหิมะ ได้แก่ ค่าสีตามมาตรฐานระบบ CIE L* a* b* (L* หมายถึง ค่าความสว่าง, a* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง, b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง) ค่าความหนืด โดยใช้หัววัดเบอร์ 4 ความเร็วรอบ 90 รอบ/นาที วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH และปริมาณ TSS

องค์ประกอบสารอาหารและพลังงาน ได้แก่ ความชื้น ใยอาหาร และเถ้าโดยวิธีมาตรฐาน AOAC Method (2000) พลังงานทั้งหมด พลังงานจากไขมัน คาร์โบไฮเดรต และน้ำตาลทั้งหมดโดยวิธีการคำนวณ (AOAC, 2000) ฟรุกโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์โดยวิธี Fructan Assay Procedure (AOAC, 999.03) น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุกโตส และน้ำตาลซูโครสโดยวิธี (High Performance Liquid Chromatography: HPLC) โปรตีนโดยวิธี Kjeldahl's method (AOAC, 2000) ไขมันโดยวิธี Soxhlet Extraction (AOAC, 2000)

4) คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทดสอบความชอบและการยอมรับโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2556)

5) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีมาวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี t-test แบบ Independent test ทำ 10 ซ้ำการทดลอง องค์ประกอบสารอาหาร 2 ซ้ำการทดลอง และนำข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบด้วยวิธี t-test แบบ Paired sample test และคำนวณร้อยละการยอมรับ (อนุวัตร แจ้งชัด, 2549) คัดเลือกวิธีผลิตไซรัปบัวหิมะที่เหมาะสมโดยให้ค่าพลังงานต่ำที่สุดและได้คะแนนความชอบมากที่สุด

4.3.2 ศึกษาวิธีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซรัปบัวหิมะ

ศึกษาการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2 วิธีได้แก่ การใช้ความร้อนและการใช้สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2560) ดังนี้

1) การใช้ความร้อน นำบัวหิมะไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 1 นาที คั้นน้ำ จากนั้นทำให้เข้มข้นโดยต้มระเหยน้ำออกจนมีปริมาณ TSS เท่ากับ 70°Bx อุณหภูมิในการต้มไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส

2) การใช้สารต้านอนุมูลอิสระ คั้นน้ำบัวหิมะและผสมกรดแอสคอร์บิก โดยศึกษาอัตราส่วนของกรดแอสคอร์บิก 3 ระดับ ได้แก่ 0.05, 0.15 และ 0.25 กรัมต่อบัวหิมะ 1 กิโลกรัม จากนั้นทำเข้มข้นโดยต้มระเหยน้ำออกจนมีปริมาณ TSS เท่ากับ 70°Bx อุณหภูมิในการต้มไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส

3) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปบัวหิมะ ได้แก่ ค่าสีตามมาตรฐานระบบ CIE L* a* b* (L* หมายถึง ค่าความสว่าง, a* หมายถึง ค่าสีเขียว-แดง, b* หมายถึง ค่าสีน้ำเงิน-เหลือง) ค่าความหนืดโดยใช้หัววัดเบอร์ 4 ความเร็วรอบ 90 รอบ/นาที วัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า pH และปริมาณ TSS

4) ศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบความชอบกับผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้วยวิธีให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2556)

5) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีมาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย วัดค่าจำนวน 10 ซ้ำการทดลอง วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design (CRD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test และนำข้อมูลคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple's range test (อนุวัตร แจ้งชัด, 2549)

5. ผลการวิจัย

5.1 การทำให้ของเหลวเข้มข้น

ตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของบัวหิมะ พบว่า ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 84.74 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 13.82 มีพลังงานทั้งหมด 58.95 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนัก 100 กรัม นำบัวหิมะมาคั้นน้ำ พบว่า น้ำบัวหิมะเกิดการเปลี่ยนสีอย่างรวดเร็ว โดยเปลี่ยนจากสีส้มอ่อนเป็นสีเขียวเข้มภายในเวลา 10-15 วินาที มีค่า L*=27.03, a*= -4.78, b*= -5.09 ซึ่งจะเห็นว่าค่า a* และb* มีค่าเป็นลบ นั่นคือ ตัวอย่างมีสีออกไปทางสีเขียวและน้ำเงิน เมื่อวัดปริมาณ TSS พบว่า มีค่าเท่ากับ 10.60^{o}Bx

1) วิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิม นำน้ำบัวหิมะที่ได้ไปทำให้เข้มข้นโดยการต้มระเหยน้ำออกจนมีปริมาณ TSS เท่ากับ 70°Bx โดยระเหยผ่านน้ำเดือดเพื่อควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการสลายตัวของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในบัวหิมะ เนื่องจากฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์จะสลายที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสและให้น้ำตาลอิสระ Sridevi *et al*. (2014) ได้ผลิตภัณฑ์ไซรัปบัวหิมะ

2) วิธีทำให้เข้มข้นโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ คั้นน้ำบัวหิมะ จากนั้นนำมาทำเข้มข้นและได้ของเหลวที่มีปริมาณ TSS เท่ากับ 70°Bx

3) วิเคราะห์ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปบัวหิมะ

- คุณภาพทางกายภาพ พบว่า ไซรัปบัวหิมะที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทั้งสองวิธีมีร้อยละผลผลิต (%Yield) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 9-10% เมื่อเปรียบเทียบค่าสีของไซรัป พบว่า วิธีทำให้เข้มข้นที่แตกต่างกันมีผลทำให้ค่าสีของไซรัปมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ขณะที่วิธีการทำให้เข้มข้นไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดของไซรัป ($p > 0.05$) โดยไซรัปที่ผลิตด้วยวิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิมมีสีเข้ม (L* =27.82, a* =5.10, b* = -6.47) มากกว่าไซรัปที่ผลิตด้วยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ (L*=25.23, a*= 4.44, b*= -4.77) ขณะที่ค่าความหนืดของไซรัปทั้งสองวิธีมีค่าความหนืดเท่ากับ 3526.3 cP และ3497.6 cP ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

- คุณภาพทางเคมี พบว่า ค่า pH ของไซรัปที่ผลิตด้วยวิธีการผลิตทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4.97-5.32 ซึ่งมีสภาพเป็นกรดอ่อน เมื่อวัดปริมาณ TSS พบว่า การผลิตไซรัปทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยไซรัปที่ผลิตด้วยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศและวิธีดั้งเดิมมีค่าเท่ากับ 70.30^{o}Bx และ70.00^{o}Bx ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

- องค์ประกอบสารอาหาร พบว่า วิเคราะห์ส่วนประกอบสารอาหาร (ร้อยละต่อน้ำหนัก 100 กรัม) ของไซรัปบัวหิมะทั้งสองวิธี พบว่า ไซรัปบัวหิมะทั้งสองวิธีมีส่วนประกอบสารอาหารไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีความชื้นร้อยละ 19.04-21.95 วัตถุแห้งร้อยละ 78.05-79.12 มีพลังงานทั้งหมด 196.54-206.37 กิโลแคลอรี องค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 73.69-74.54 มีปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์ร้อยละ 25.29-26.30 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 41.33-47.28 โดยแบ่งเป็น น้ำตาลกลูโคสร้อยละ 16.77-15.86 น้ำตาลฟรุกโตสร้อยละ 24.56-31.42 ไม่พบน้ำตาลซูโครส มีโปรตีนร้อยละ 1.40-1.44 ไขมันร้อยละ 0.21-0.29 ใยอาหารร้อยละ 3.65-4.62 และแร่ธาตุร้อยละ 2.71-2.84 (ตารางที่ 2)

- คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า ผู้ทดสอบชอบสีและความหนืดของไซรัปทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยให้คะแนนในระดับชอบเล็กน้อย (คะแนนความชอบสี = 5.02-5.97 และคะแนนความหนืด = 6.57-6.63) ขณะที่ชอบกลิ่นรสโดยรวม รสหวาน และรสชาติโดยรวมของไซรัปทั้งสองตัวอย่างแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบชอบตัวอย่างที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมมากกว่าวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ โดยให้คะแนนในระดับชอบเล็กน้อย (คะแนนความชอบ = 6.23, 6.21 และ6.00 ตามลำดับ) ขณะที่ตัวอย่างที่ผลิต

ด้วยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศให้คะแนนในระดับไม่ชอบปานกลางถึงเฉย ๆ (คะแนนความชอบ = 3.30, 5.07, และ4.89 ตามลำดับ) เมื่อทดสอบการยอมรับ พบว่า ผู้ทดสอบยอมรับไซรัปที่ผลิตด้วยวิธีแบบดั้งเดิมร้อยละ 83.33 ขณะที่ร้อยละ 16.67 ไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์ เนื่องจากต้องการให้ปรับปรุงความเข้มของสี เมื่อประเมินไซรัปที่ผลิตโดยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ พบว่า ผู้ทดสอบยอมรับเพียงร้อยละ 20.64 และไม่ยอมรับร้อยละ 79.36 เนื่องจากไม่ชอบกลิ่นรสโดยรวม เพราะมีกลิ่นเหม็นเขียว

ตารางที่ 1 ค่าคุณภาพของไซรัปบัวหิมะที่ผลิตด้วยวิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิมและวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ

ค่าคุณภาพ	ไซรัปบัวหิมะวิธีแบบดั้งเดิม	ไซรัปบัวหิมะวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ
ร้อยละผลผลิต (%Yield)^{ns}	10.05	9.13
ค่าความสว่าง; L*	27.82±1.22^{a}	25.23±1.28^{b}
ค่าสีเขียว – แดง; a*	5.10±0.01^{a}	4.44±0.01^{b}
ค่าสีน้ำเงิน – เหลือง; b*	-6.47±0.04^{b}	-4.77±0.05^{a}
ความหนืด (cP)^{ns}	3526.30±31.01	3497.60±20.03
ค่า pH^{ns}	4.97±0.01	5.32±0.03
ค่า TSS (^{o}Bx)^{ns}	70.00±1.13	70.30±0.08

หมายเหตุ $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนเดียวกันมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 2 องค์ประกอบสารอาหารของไซรัปบัวหิมะที่ผลิตด้วยวิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิมและวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ

ส่วนประกอบสารอาหาร	ไซรัปบัวหิมะวิธีแบบดั้งเดิม	ไซรัปบัวหิมะวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ
ความชื้น^{ns}	21.95	19.04
วัตถุแห้ง (Dry matter) ^{ns}	78.05	79.12
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี) ^{ns}	196.54	206.37
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี) ^{ns}	1.89	1.77
คาร์โบไฮเดรต^{ns}	73.69	74.54
ปริมาณฟรุกโตโอลิโกแซคคาร์ไรด์^{ns}	25.29	26.30
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด^{ns}	41.33	47.28
น้ำตาลกลูโคส^{ns}	16.77	15.86
น้ำตาลฟรุกโตส^{ns}	24.56	31.42
น้ำตาลซูโครส^{ns}	ND	ND
โปรตีน^{ns}	1.44	1.40
ไขมัน^{ns}	0.21	0.29
ใยอาหาร^{ns}	3.65	4.62
แร่ธาตุ^{ns}	2.71	2.84

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

5.2 ศึกษาวิธีการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซรัปบัวหิมะ

เนื่องจากไซรัปบัวหิมะที่ใช้วิธีการทำเข้มข้นแบบดั้งเดิมมีสีเข้มเกินไป ดังนั้น จึงศึกษาวิธียับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซรัปบัวหิมะเพื่อพัฒนาคุณภาพด้านสีของไซรัปบัวหิมะให้สว่างขึ้น โดยใช้ 2 วิธี ได้แก่ 1) การใช้ความร้อน 2) การใช้สารต้านอนุมูลอิสระ นำไปวัดค่าคุณภาพทางกายภาพ เคมีและคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

- คุณภาพทางกายภาพ พบว่า การปรับปรุงคุณภาพด้านสีของไซรัปบัวหิมะ (ตารางที่ 3) ด้วยวิธีการใช้ความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี (L* = 27.99, a* = 5.70, b* = -6.26) ขณะที่การใช้สารต้านอนุมูลอิสระ (กรดแอสคอร์บิก) ส่งผลให้ค่าสีของไซรัปมีความแตกต่างจากสูตรควบคุม ($P \leq 0.05$)โดยการใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับ 0.25 กรัมส่งผลให้ไซรัปมีความสว่างมากที่สุด (L* =32.69, a* = 4.93, b* = -4.75) แต่ส่งผลให้เกิดเม็ดตะกอนแขวนลอยอยู่ในเนื้อไซรัปทำให้ไซรัปไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน รองลงมาคือที่ระดับ 0.15 กรัม (L* = 29.62, a* =5.16, b* = -5.22) ขณะที่ระดับ 0.05 กรัม ค่าสีของไซรัปไม่มีความแตกต่างจากไซรัปสูตรควบคุม ($P > 0.05$) เมื่อวัดค่าความหนืดของไซรัป พบว่า การเติมสารต้านอนุมูลอิสระ(กรดแอสคอร์บิก) ที่ระดับ 0.25 กรัม ส่งผลให้ไซรัปมีค่าความหนืดน้อยที่สุด ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3066.7 cP ขณะที่สิ่งทดลองอื่นๆ มีค่าความหนืดไม่แตกต่างกัน ($P > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 3481.2-3579.8 cP

- คุณภาพทางเคมี พบว่า ค่า pH ของไซรัป (ตารางที่ 3) ที่ใช้กรดแอสคอร์บิก 0.25 กรัม มีค่า pH ต่ำที่สุด (4.00) ขณะที่ไซรัปที่ใช้วิธีการให้ความร้อนและสูตรควบคุมมีค่า pH เท่ากับ 4.71 และ4.97 ตามลำดับ เนื่องจากวิธีการปรับปรุงคุณลักษณะด้านสีของไซรัปบัวหิมะที่ได้ผลดี คือ การเติมสารต้านอนุมูลอิสระ (กรดแอสคอร์บิก) แต่หากเติมมากเกินไปจะทำให้ค่า pH ของไซรัปลดลงซึ่งส่งผลต่อการทำลายพันธะของสาร FOS ในไซรัปได้ (Sridevi *et al*., 2014) เมื่อวัดปริมาณ TSS พบว่า ไซรัปทั้งสามตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน (70-71.6^{o}Bx) ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพสีของไซรัปที่เหมาะสม คือ การใช้กรดแอสคอร์บิกที่ระดับ 0.15 กรัมต่อบัวหิมะ 1 กิโลกรัม

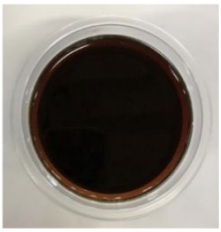
ตารางที่ 3 ค่าคุณภาพทางกายภาพและเคมีของไซรัปบัวหิมะสูตรควบคุม ไซรัปที่ใช้ความร้อนและใช้สารต้านอนุมูลอิสระในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

คุณภาพ	ไซรัปบัวหิมะ				
	ทำเข้มข้นแบบดั้งเดิม (สูตรควบคุม)	ใช้ความร้อน	ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (กรัมต่อบัวหิมะ 1 กิโลกรัม)		
			0.05	0.15	0.25
ค่าความสว่าง; L*	27.82±1.10^{b}	27.99±1.23^{b}	28.02±1.14^{b}	29.62±1.17^{ab}	32.69±1.53^{a}
ค่าสีเขียว – แดง; a*^{ns}	5.10±0.01	5.70±0.02	5.52±0.01	5.16±0.03	4.93±0.01
ค่าสีน้ำเงิน – เหลือง; b*	-6.47±0.01^{b}	-6.26±0.01^{ab}	-6.11±0.08^{ab}	-5.22±0.11^{ab}	-4.75±0.06^{a}
ค่าความหนืด (cP)	3526.3±54.25^{a}	3579.8±33.17^{a}	3540.6±23.55^{a}	3481.2±51.40^{a}	3066.7±26.58^{b}
ค่า pH	4.97±0.12^{a}	4.71±0.11^{a}	4.70±0.15^{a}	4.50±0.10^{a}	4.00±0.10^{b}
ค่า TSS (^{o}Bx)^{ns}	70.00±1.31	71.60±1.06	70.00±1.29	71.20±1.14	71.00±0.90

หมายเหตุ $^{a-b}$ หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนเดียวกันมีอักษรต่างกันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{ns} หมายถึง ค่าเฉลี่ยข้อมูลในแนวนอนเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)

- คุณภาพทางประสาทสัมผัส พบว่า หลังจากคัดเลือกไซรัปบัวหิมะที่ใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่ระดับ 0.15 กรัม มาทดสอบความชอบและการยอมรับของผลิตภัณฑ์โดยผู้ทดสอบจำนวน 30 คน พบว่า ผู้ทดสอบชอบสีของไซรัป ความหนืด กลิ่นรสโดยรวม รสหวาน และรสชาติโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย (คะแนนความชอบ เท่ากับ 6.17, 6.57, 6.23, 6.21 และ6.00 ตามลำดับ)



(ก)

(ข)

ภาพที่ 1 (ก) ไซรัปบัวหิมะใช้วิธีทำเข้มข้นแบบดั้งเดิม (ข) ไซรัปบัวหิมะที่ใช้สารต้านอนุมูลอิสระ 0.15 กรัมต่อบัวหิมะ 1 กิโลกรัม

6. อภิปรายผล

บัวหิมะเมื่อนำมาคั้นน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีอย่างรวดเร็วโดยจะเปลี่ยนจากสีส้มอ่อนเป็นสีเขียวเข้มภายในเวลา 10-15 วินาที เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นเมื่อเซลล์ของผักผลไม้เกิดการช้ำหรือฉีกขาดทำให้เอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase; PPO) สารประกอบฟีนอลิกที่เป็นสารตั้งต้น และออกซิเจนเกิดการสัมผัสกันที่ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ PPO (pH 5-7) ซึ่งจะเห็นว่าน้ำบัวหิมะมีค่า pH เท่ากับ 6.06 ส่งผลให้สารโมโนฟีนอลซึ่งไม่มีสีถูกออกซิไดซ์เป็นไดฟีนอลซึ่งไม่มีสีและถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น o-quinone ซึ่งจะทำปฏิกิริยาต่อกับสารประเภท sulfhydryl, amino group, reducer sugar ทำให้เกิดการรวมตัวกันกลายเป็นโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีสีน้ำตาล เรียกว่า เมลาดินอย ส่งผลให้น้ำบัวหิมะมีสีเข้ม (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์, 2560)

ในการผลิตไซรัปบัวหิมะเพื่อให้สามารถรักษาปริมาณ FOS ของบัวหิมะไว้ได้ พบว่า การควบคุมอุณหภูมิในการระเหยน้ำเป็นขั้นตอนที่สำคัญโดยต้องควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการสลายตัวของ FOS ในบัวหิมะ เนื่องจาก FOS จะสลายที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสและให้น้ำตาลอิสระ (Sridevi *et al*., 2014) ซึ่งวิธีในการระเหยน้ำออกนี้นอกจากจะมีผลต่อปริมาณ FOS แล้วยังส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย โดยการผลิตด้วยวิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิมจะให้ไซรัปที่มีสีเข้มกว่าการผลิตด้วยวิธีระเหยแห้งภายใต้สุญญากาศ เนื่องจากมีการใช้ความร้อน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช้เอนไซม์ นั่นคือปฏิกิริยาเมลลาร์ดและปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชัน โดยปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์ในไซรัปซึ่งมีหมู่ที่เป็นอัลดีไฮด์และคีโตนทำปฏิกิริยากับสารประกอบไนโตรเจน เช่น โปรตีนทำให้เกิดสารสีน้ำตาลเรียกว่าเมลานอยดิน ขณะที่ปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันเกิดจากการให้ความร้อนแก่น้ำตาลและเกิดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้น้ำตาลเกิดการสลายตัวและเกิดพอลิเมอร์ให้สารที่มีสีคือคาราเมแลน (Marianne and Colin, 2017) เมื่อศึกษาส่วนประกอบคุณค่าทางสารอาหารการผลิตไซรัปทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกัน แต่มีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการผลิตด้วยวิธีทำให้เข้มข้นแบบดั้งเดิมเป็นวิธีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพัฒนากลิ่นรสได้ดีกว่าเนื่องจากมีการใช้ความร้อน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันและปฏิกิริยาเมลลาร์ดในผลิตภัณฑ์โดยปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันจะเกิดจากการไพโรไลซิสซึ่งเป็นปฏิกิริยาการแตกสลายของสารอินทรีย์ ได้แก่ มอโน

แซ็กคาไรด์ไดแซ็กคาไรด์ โอลิโกแซ็กคาไรด์และพอลิแซ็กคาไรด์ เมื่อได้รับความร้อนและเกิดการสูญเสียน้ำ ได้องค์ประกอบที่มีขนาดเล็กลงและระเหยง่าย ซึ่งเป็นสารในกลุ่ม Methyl enolone ที่ให้ลักษณะของกลิ่นต่าง ๆ ได้แก่ กลิ่นหวาน กลิ่นคาราเมล เป็นต้น (Coca *et al*., 2004) ขณะที่ปฏิกิริยาเมลลาร์ดเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ที่มีส่วนประกอบของกลุ่มคาร์-บอนิลกับกรดอะมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่น ๆ ที่มีความร้อนเร่ง ปฏิกิริยาทำให้ได้สารระเหยในกลุ่มฟูแรนและอนุพันธ์ของฟูแรน คือ 4-hydroxy-2,5-dimethyl 3(2H)-furanone, 3-hydroxy-4,5-dimethyl-2(5H)-furanone, 2(5)-ethyl-4-hydroxy-5(2)-methyl3(2H)-furanone ซึ่งให้กลิ่นคาราเมล (Marianne and Colin, 2017) ดังนั้น กลิ่นที่เกิดขึ้นส่งผลให้ผู้ทดสอบชอบผลิตภัณฑ์ไซรัปที่ผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมมากกว่า

การปรับปรุงสีของไซรัปให้สว่างขึ้นด้วยการใช้สารต้านอนุมูลอิสระ(กรดแอสคอร์บิก) พบว่า การใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ไซรัปมีความสว่างเพิ่มขึ้น เนื่องจากกรดอินทรีย์จะทำให้ค่า pH ของตัวอย่างลดลงต่ำกว่าค่า pH ที่เหมาะสมในการทำงานของเอนไซม์ PPO (pH = 5-7) เมื่อค่า pH ลดลง เอนไซม์จะถูกยับยั้งการทำงานเพราะสูญเสียสภาพธรรมชาติ ดังนั้น จึงเป็นการยับยั้งปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ แต่หากใช้ปริมาณกรดแอสคอร์บิกมากเกินไปจะทำให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลต่อการทำลายพันธะของ FOS ซึ่งถูกทำลายที่ค่า pH เท่ากับ 4.0 เกิดเป็นน้ำตาลอิสระ (น้ำตาลให้พลังงาน ได้แก่ กลูโคส ฟรุกโตส ซูโครส) (Sridevi *et al*., 2014) และส่งผลให้เกิดเม็ดตะกอนแขวนลอยอยู่ในเนื้อไซรัปทำให้ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากแทนนินและโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในบัวหิมะจะสามารถรวมตัวกันและเกิดเป็นตะกอนในช่วง pH 3.5-4.0 (วัฒนา วิริวุฒิกร, 2540) ดังนั้น จึงพบตะกอนแทนนิน-โปรตีนแขวนลอยในไซรัปบัวหิมะที่ pH 4.0 ได้ อีกทั้งยังส่งผลต่อค่าความหนืดของไซรัปโดยทำให้มีความหนืดลดลง เนื่องจากกรดสามารถไฮโดรไลซ์สารพอลิเมอร์ เช่น โปรตีนหรือพอลิแซคคาไรด์ให้ขาดออกจากกันและแตกเป็นโมเลกุลเล็ก ส่งผลให้แรงที่มากระทำต่อพื้นผิวของไหลลดลง (Xiumei *et al*., 2022)

7. ข้อเสนอแนะ

ไซรัปบัวหิมะเกิดสีคล้ำง่ายซึ่งมีผลต่อความชอบของผู้บริโภค การใช้สารต้านอนุมูลอิสระสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านสีของไซรัปให้สว่างขึ้นได้และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ เช่น กรดซิตริก กรดมาลิก กรดคาเฟอิก เป็นต้น

8. เอกสารอ้างอิง

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนิธิยา รัตนปานนท์. (2560). *ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 22 กุมภาพันธ์ 2563, จาก: https://www.foodnetworksolution.com

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. (2556). *การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภค*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วัฒนา วิริวุฒิกร. (2540). การประยุกต์ใช้น้ำผึ้งเพื่อทำน้ำผลไม้ให้ใส. *อาหาร*, 27(1), 14-25.

วรรณคล เชื้อมงคล. (2556). ประโยชน์ของฟรุกโตโอลิโกแซคคาไรด์ในอาหารทางการแพทย์. *วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ*, 8(3), 122-128.

อนุวัตร แจ้งชัด. (2549). *สถิติสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการประยุกต์*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Anikó M., Jens H., Benjamin M. and Simone G. (2019). Tuber Yield Formation and Sugar Composition of Yacon Genotypes Grown in Central Europe. *Agronomy*, 9, 301–315.

Brites M.L. and Noreña C.P.Z. (2014). OBTAINING FRUCTOOLIGOSACCHARIDES FROM YACON (Smallanthus sonchifolius) BY AN ULTRAFILTRATION PROCESS. *Brazilian Journal of Chemical Engineering,* 4(33), 1011-1020.

Coca M., Garcia M.T., Gonzalez G., Pena M. and Garcia J.A. (2004). Study of colored compounds formed in sugar beet processing. *Food Chemistry*, 86, 421-433.

Grethel ,T., Wirla M., Mário R. and Glaucia M. (2013). Yacon (Smallanthus sonchifolius): A Functional Food. *Plant Foods for Human Nutrition*, 3(68), 222–228.

Larissa K., Jens H., Benjamin M. and Simone G. (2019). Tuber Yield Formation and Sugar Composition of Yacon Genotypes Grown in Central Europe. *Agronomy*, 9, 301–315.

Marianne N. L. and Colin R. (2017). Control of Maillard Reactions in Foods: Strategies and Chemical Mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(23), 117–124.

Sridevi V., Sumathi V., Guru P.M. and Satish M. (2014). Fructooligosaccharides - type prebiotic : A Review. *Journal of Pharmacy Research*, 8(3), 321-330.

Xiumei Z., Jinyin C., Hui W., Zongcai T., Junyi Y. and Shaoping N. (2022). Mechanism of viscosity reduction of okra pectic polysaccharide by ascorbic acid. *Carbohydrate Polymers*, 284(5), 119-203.

ผลของสารเสริมซีรั่มชนิดต่างๆ ต่อพิกกี้แบคซีดีสิบเก้า ไคเมอริกแอนติเจนรีเซพเตอร์ทีเซลล์

EFFECTS OF DIFFERENT SERUM SUPPLEMENTS ON PIGGYBAC CD19 CHIMERIC ANTIGEN RECEPTOR T CELLS

มุลิตา แสนยานุสิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: mulitasanyanusin@gmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการรักษาด้วย Chimeric Antigen Receptor T Cell (CAR T cells) เป็นเทคโนโลยีทางภูมิคุ้มกันบำบัดที่ใช้ในการรักษาโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวที่มีโรคกลับมาเป็นซ้ำหรือไม่ตอบสนองต่อการรักษา ซึ่งมีรายงานวิจัยที่ทำการศึกษา การใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันในกระบวนผลิตและเพาะเลี้ยง CAR T cells ในห้องปฏิบัติการ โดยอาศัยการนำส่งยีนด้วยระบบไวรัสระบุว่า การใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อลักษณะและส่วนประกอบของเซลล์ รวมถึงประสิทธิภาพของ CAR T cells ที่ได้ ในงานวิจัยชิ้นนี้จะเปรียบเทียบคุณลักษณะและคุณสมบัติของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ซึ่งเป็นระบบนำส่งยีนที่ไม่อาศัยไวรัส โดยใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันได้แก่ Fetal bovine serum (FBS) และ Human platelet lysate (HPL) ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มจำนวนของ CAR T cells, การแสดงออกของ CAR โมเลกุลบน T cells, ลักษณะและส่วนประกอบของเซลล์ รวมถึงประสิทธิภาพ ในการกำจัดเซลล์มะเร็งเป้าหมายของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ที่ใช้ Fetal bovine serum (FBS) และ Human platelet lysate (HPL) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในการผลิต CAR T Cells ด้วยระบบ PiggyBac สามารถใช้ Human platelet lysate (HPL) แทนที่ Fetal bovine serum (FBS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: Chimeric antigen receptor T cells, CAR T cells, CD19, PiggyBac, Fetal bovine serum, Human platelet lysate, FBS, HPL

ABSTRACT

Chimeric Antigen Receptor T cell (CAR T Cells) is currently a standard therapy in relapse and refractory blood cancer. Several studies have shown that different types of serum supplements in culture conditions can affect the immunophenotype and function of viral-based CAR T. In this study, we compared cell expansion, CAR efficiency, cell phenotype, T cell subsets, and antitumor activity of PiggyBac transposon-based CD-19 CAR T cell production using Fetal bovine serum (FBS) and Human platelet lysate (HPL). The results revealed that the cell expansion, CAR efficiency, cell phenotype, T cell subsets, and antitumor activity were

similar between 2 conditions. In conclusion, this finding supports the usage of HPL as an alternative serum source of piggyBac CAR T cell production.

Keywords: Chimeric antigen receptor T cells, CAR T cells, CD19, PiggyBac, Fetal bovine serum, Human platelet lysate, FBS, HPL

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

มะเร็งเม็ดเลือดขาวเป็นหนึ่งในโรคมะเร็งที่ก่อให้เกิดปัญหาสำคัญต่อระบบสาธารณสุขในไทย การรักษาโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวที่มีโรคกลับมาเป็นซ้ำหรือไม่ตอบสนองต่อการรักษามีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในปัจจุบันมีการรักษาด้วยภูมิคุ้มกันบำบัดที่อาศัยการเหนี่ยวนำและกระตุ้นให้เกิดการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของผู้ป่วยเพื่อทำลายเซลล์มะเร็ง เช่น การรักษาด้วย Chimeric Antigen Receptor T Cell (CAR T cells) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางภูมิคุ้มกันบำบัดรูปแบบใหม่ที่มีการดัดแปลงพันธุกรรมของเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด T cells ให้มีความสามารถในการทำลายเซลล์มะเร็งเป้าหมายได้อย่างจำเพาะเจาะจง โดยไม่ต้องใช้กระบวนการนำเสนอ tumor associated antigen ผ่าน HLA โมเลกุล ทำให้สามารถตรวจจับเซลล์มะเร็งที่ลดการแสดงออกของ HLA โมเลกุลได้ [1-3] สำหรับโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด B cells จะมีการใช้ CAR T Cells ที่จำเพาะเจาะจงกับโมเลกุล CD19 ซึ่งในปี 2560 สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกา ได้มีการขึ้นทะเบียนและอนุญาตให้ใช้การรักษาด้วย CAR T Cells ที่จำเพาะเจาะจงกับโมเลกุล CD19 สำหรับการรักษามะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด B cells ภายใต้ชื่อทางการค้า Kymriah และ Yescarta อย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายสำหรับการรักษาด้วยยา 2 ตัวนี้ มีค่าจ่ายที่สูงมากถึง 15 ล้านบาทต่อการรักษา 1 ครั้ง ก่อให้เกิดความพยายามที่จะคิดค้นและพัฒนาการผลิต CAR T cells จากหลายๆสถาบันเพื่อลดค่าใช้จ่าย และทำให้ประชากรชาวไทยมีโอกาสเข้าถึงยาได้เพิ่มมากขึ้น [4-6]

โดยทั่วไปในการผลิต CAR T Cells จะมีการดัดแปลงพันธุกรรมของ T cells ให้มีการแสดงออกของ CAR โมเลกุล จะใช้การนำส่งยีนด้วยระบบไวรัส ซึ่งมีข้อจำกัดในขั้นตอนที่ซับซ้อนและมีความเสี่ยงในการปนเปื้อน รวมถึงมีค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตที่สูง [7, 8] จึงมีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการนำส่งยีนด้วยระบบที่ไม่อาศัยไวรัส ได้แก่ ระบบ PiggyBac ที่สามารถตัดต่อและนำส่งยีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [9, 10]

ในการผลิตและเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ในห้องปฏิบัติการ โดยปกติแล้วจะมีการใช้ Fetal bovine serum (FBS) เป็นสารเสริมซีรั่มมาตรฐาน แต่การใช้ FBS ก่อให้เกิดปัญหามากมาย เนื่องจากเป็นซีรั่มที่ได้มาจากสัตว์ ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางระบบภูมิคุ้ม, เพิ่มความเสี่ยงที่จะเกิดโรควัวบ้า (Bovine spongiform encephalopathy) ในคน, มีข้อจำกัดด้านจริยธรรมในสัตว์ ในขั้นตอนระหว่างการเจาะเลือดเพื่อผลิตซีรั่ม รวมถึงมีความจำเป็นอย่างสูงที่จะต้องมีการประกันคุณภาพในทุกๆรอบของการผลิต [11-14] ก่อให้เกิดความพยายามที่จะหาสารเสริมซีรั่มที่สามารถนำมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงเหล่านี้ได้ ซึ่งการใช้ Human platelet lysate (HPL) ที่ผลิตจากเกล็ดเลือดของมนุษย์เอง ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการผลิตและเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวน CAR T Cells ในระดับห้องปฏิบัติการ [13, 15, 16]

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อเปรียบเทียบผลของการใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันในการผลิต PiggyBac CD19 CAR T Cells

(2) เพื่อหาสารเสริมซีรั่มที่สามารถนำมาใช้ทดแทนสารเสริมซีรั่มมาตรฐาน (FBS) ที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

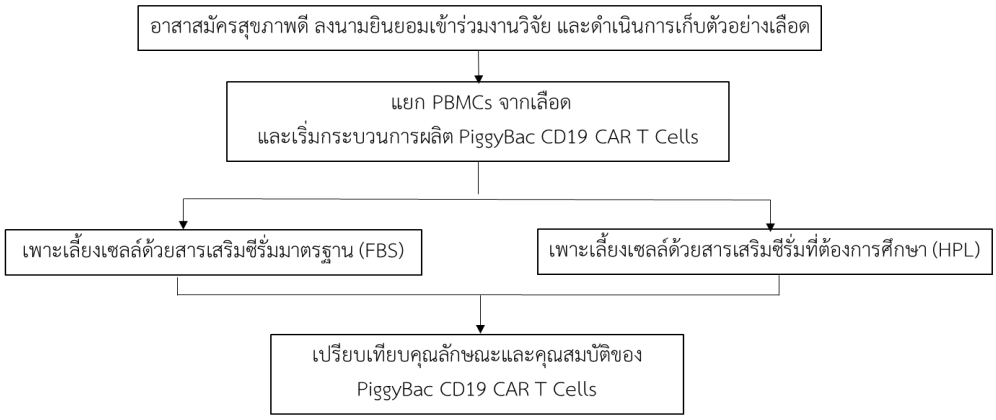
3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้สารเสริมซีรั่มมาตรฐาน (FBS) ก่อให้เกิดข้อจำกัดมากมายในกระบวนการผลิต CAR T Cells จึงจำเป็นจะต้องมีการหาสารเสริมซีรั่มที่สามารถนำมาใช้แทนที่ FBS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยที่มีการใช้ระบบไวรัสในการผลิตได้ระบุว่า การใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันมีผลกระทบต่อ คุณลักษณะและคุณสมบัติของ CAR T cells [16, 17] สำหรับระบบที่ไม่ใช่ไวรัสในการผลิต ยังไม่มีข้อมูลหรือหลักฐานที่บ่งชี้ถึงอิทธิพลของสารเสริมซีรั่มที่ต่างกัน งานวิจัยชิ้นนี้จึงเกิดขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของการใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันในแง่คุณลักษณะ และคุณสมบัติของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ในระดับห้องปฏิบัติการ

สำหรับระบบ PiggyBac จากรายงานวิจัยโดย Yozo Nagazawa และคณะ พบว่า piggyBac System สามารถนำส่งยีนหลายชนิดเข้าสู่ T lymphocytes ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเหนี่ยวนำให้มีการแสดงออกอย่างคงตัวของ CAR บน T cells (stable expression) [18]

สำหรับการใช้ HPL ในการผลิต CAR T Cells ด้วยระบบไวรัส จากรายงานวิจัยโดย Alejandro Torres Chaves และคณะ พบว่า การเจริญเติบโตของ CAR T cells ที่ถูกเพาะเลี้ยงด้วย FBS, Human serum และ HPL ไม่แตกต่างกัน แต่ในการเพาะเลี้ยงร่วมกับเซลล์มะเร็งเป้าหมายเป็นระยะเวลา 9 วัน พบว่า HPL สามารถลดอัตราการเพิ่มจำนวนของเซลล์มะเร็ง และสามารถเพิ่มจำนวนของCAR T Cell ได้ดีกว่า FBS และ Human serum นอกจากนี้ในการทดลองในหนูพบว่า HPL มีอัตราการรอดชีวิตของหนูสูงสุด เมื่อเทียบกับหนูที่อยู่ในกลุ่ม Human serum และ FBS อย่างไรก็ตามการใช้ Human serum เป็นสารเสริมซีรั่มในการเพาะเลี้ยง CAR T cells ยังก่อให้เกิดปัญหา เนื่องจาก human serum มีสารบางชนิดที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อการเพิ่มจำนวนและการอยู่รอดของ T cells [17] จึงเป็นสาเหตุที่ในงานชิ้นนี้เลือกใช้ HPL แทนที่ human serum ในการศึกษา

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

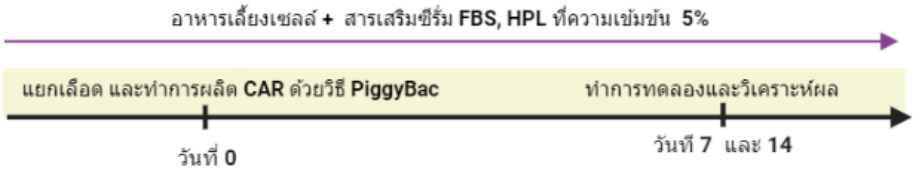
3.3 สมมติฐานการวิจัย

Human platelet lysate (HPL) สามารถนำมาใช้เป็นสารเสริมซีรั่มในกระบวนการผลิตPiggyBac CD19 CAR T Cells ในระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อทดแทนสารเสริมซีรั่มมาตรฐาน (FBS) ที่มีข้อจำกัดในการใช้งานได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

หลังจากที่ได้ PBMCs จากอาสาสมัครสุขภาพดี จะทำการดัดแปลงพันธุกรรมของ T cells ให้มีการแสดงออกของ CD19 CAR โมเลกุลโดยอาศัยระบบ PiggyBac ในการนำส่งยีน จากนั้นจะทำการแบ่งเซลล์ออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 4 ล้านเซลล์ โดยกลุ่มแรกจะทำการเพาะเลี้ยงด้วยสารเสริมซีรั่มมาตรฐาน (FBS, Thermo Fisher Scientific) ที่ความเข้มข้น 5% และกลุ่มที่สองจะทำการเพาะเลี้ยงด้วยสารเสริมซีรั่มที่ต้องการศึกษา (HPL, Stemcell Technologies) ที่ความเข้มข้น 5 % และมีการเติม heparin 2 IU/ml เพื่อป้องกันการแข็งตัวของเกล็ดเลือด โดยจะทำการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเป็นระยะเวลา 14 วัน ทั้งนี้ ทั้ง 2 กลุ่มจะถูกเลี้ยงด้วย TexMACs medium ที่มีส่วนประกอบของ cytokine ได้แก่ IL-7, IL-15 อย่างละ 1 ul ต่อปริมาตร 1 ml หลังจากครบระยะเวลาเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ PiggyBac CD19 CAR T Cells จะถูกนำไปทดสอบคุณลักษณะและคุณสมบัติ ได้แก่ อัตราการเพิ่มจำนวนเซลล์, จำนวน CAR โมเลกุลบน T cells, ลักษณะและส่วนประกอบของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ที่ได้ รวมถึงความสามารถในการฆ่าเซลล์มะเร็งเป้าหมายในหลอดทดลอง



รูปที่ 1 แบบแผนของงานวิจัย

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

เกณฑ์การคัดเข้า

1. ประชากรชาวไทยสุขภาพดีที่มีอายุ 18 ปีขึ้นไป ณ วันที่ลงนามยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย จำนวน 5 ท่าน
2. สามารถลงนามยินยอมเพื่อเข้าร่วมงานวิจัยได้ด้วยตนเอง และลงนามก่อนที่จะดำเนินการเจาะเลือด

เกณฑ์การคัดออก

1. ไม่มีประวัติการตั้งครรภ์หรืออยู่ในภาวะให้นมบุตร
2. ไม่มีประวัติวินิจฉัยมะเร็งโรคเลือดหรือระบบภูมิคุ้มกันบกพร่อง
3. ไม่มีประวัติการปลูกถ่ายไขกระดูก
4. ไม่มีประวัติการได้รับการรักษาด้วยเคมีบำบัดหรือยากดภูมิคุ้มกัน

4.3 เครื่องมือวิจัย

เมื่อครบระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ PiggyBac CD19 CAR T Cells ที่ถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มจะถูกเก็บมาทำการนับจำนวนเซลล์ โดยผสมเซลล์เข้ากับ Trypan blue solution ซึ่งจะเข้าไปย้อมเซลล์ที่ตายแล้วให้ติดสีฟ้า ส่วนเซลล์ที่ยังมีชีวิตจะไม่ติดสี และนับด้วย manual hemocytometerทันที จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางคุณลักษณะและคุณสมบัติของ PiggyBac CD19 CAR T Cells โดยมีการย้อมด้วย Fluorochrome

conjugated antibodies ได้แก่ (1) การทดสอบประสิทธิภาพของ PiggyBac CD19 CAR T Cells จะใช้ CD19 CAR detection reagent, Anti-Biotin PE, and CD3-APC (Miltenyi Biotec) (2) การทดสอบอัตราส่วนและส่วนประกอบของเซลล์จะใช้ CD3-PerCP, CD56-VioBlue, CD4-FITC, CD8-PE (BD Bioscience) (3) การทดสอบความสามารถในการฆ่าเซลล์มะเร็งเป้าหมายจะใช้ CD3-PE, CD19-APC (Biolegend), และ 7AAD (BD Bioscience) ทำการย้อม antibody ละ 1 ul และบ่มที่ 4°C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นปั่นล้างโดยใช้ 1X PBS ปริมาณ 3 ml ที่ 300 xg เป็นเวลา 5 นาที และทำการวิเคราะห์ผ่านเครื่อง Flow cytometry สำหรับคุณสมบัติในการฆ่าเซลล์มะเร็งเป้าหมายจะใช้เซลล์มะเร็งเลือดขาว NALM-6 (ATCC) ที่มีการแสดงออกของ CD19 โมเลกุล

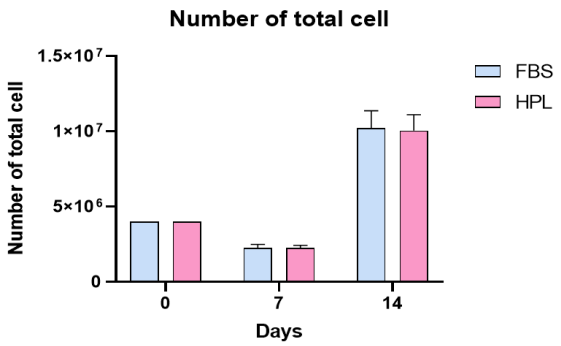
4.4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบทั้งหมดจะเก็บรวบรวม และนำเสนอในรูปแบบกราฟ โดยจะแสดงเป็นค่าเฉลี่ย (mean) และร้อยละ โดยใช้โปรแกรม GraphPad Prism 8.0 และค่าที่ยอมรับได้จะมีระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

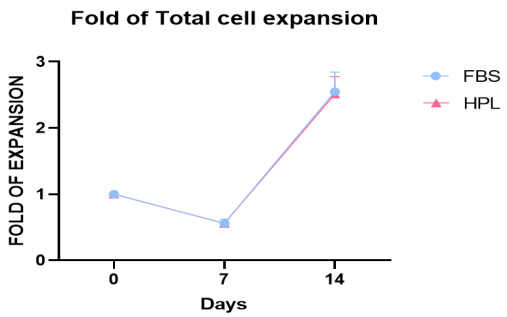
5. ผลการวิจัย

5.1 ผลของสารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันต่อการเจริญเติบโตของเซลล์

ในวันที่ 7 และ 14 ของการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการจะมีการเก็บเซลล์ขึ้นมาเพื่อทำการนับจำนวนเซลล์โดยการย้อมด้วย Trypan blue ผลการทดลองพบว่า ที่วันที่ 7 และ 14 จำนวนของ PiggyBac CD19 CAR T Cells เมื่อวิเคราะห์เป็นจำนวนเซลล์ทั้งหมด (รูปที่ 2) หรือ จำนวนเท่าของการเพิ่มจำนวนเซลล์ (รูปที่ 3) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดย p = > 0.99 ที่ day 7 และ p = 0.98 ที่ day 14



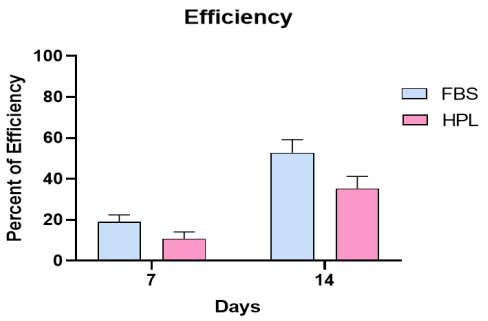
รูปที่ 2 จำนวนเซลล์ทั้งหมด (n=5) โดย p = > 0.99 ที่ day 7 และ p = 0.98 ที่ day 14



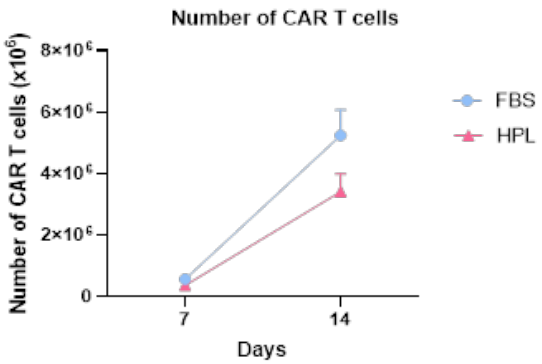
รูปที่ 3 จำนวนเท่าของการเพิ่มจำนวนเซลล์ทั้งหมด (n=5) โดย p = > 0.99 ที่ day 7 และ p = 0.98 ที่ day 14

5.2 ผลของสารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพของ PiggyBac CD19 CAR T Cells

ในวันที่ 7 และ 14 ของการเพาะเลี้ยง จะมีการแบ่งเซลล์ออกมาเพื่อทำการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ในแง่ Transfection efficiency และ จำนวนของ CAR โมเลกุลบน T cells โดยจะใช้การย้อมด้วย Fluorochrome conjugated antibodies ซึ่งจำเพาะต่อ PiggyBac CD19 CAR T Cells และทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Flow cytometry พบว่า สารเสริมซีรั่มทั้งสองชนิดให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 14 กลุ่มที่มีการใช้ FBS พบว่ามีอัตรา transfection efficiency (p = 0.13 ที่ day 7 และ 0.073 ที่ day 14) และจำนวนของ CAR โมเลกุลบน T cells (p = 0.21 ที่ day 7 และ 0.13 ที่ day 14) ค่อนข้างสูงกว่ากลุ่มที่ใช้ HPL (รูปที่ 4-5)



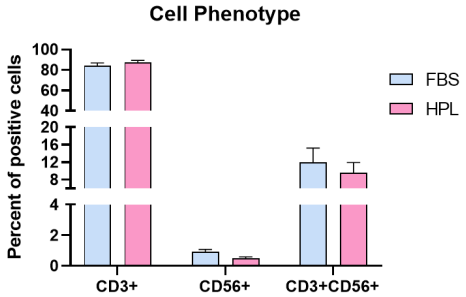
รูปที่ 4 Transfection efficiency ของ PiggyBac CD19 CAR T Cells (n=5)
โดย p = 0.13 ที่ day 7 และ 0.073 ที่ day 14



รูปที่ 5 จำนวนของ CAR โมเลกุลบน PiggyBac CD19 CAR T Cells (n=5)
โดย p = 0.21 ที่ day 7 และ 0.13 ที่ day 14

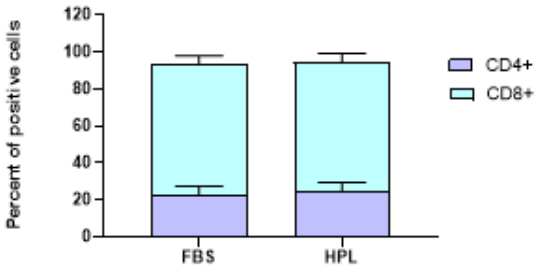
5.3 ผลของสารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันต่อส่วนประกอบของเซลล์ที่ได้หลังจากเพิ่มจำนวน

หลังจากครบระยะเวลาในการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ในห้องปฏิบัติการ PiggyBac CD19 CAR T Cells ในแต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งออกมาเพื่อนำมาย้อมด้วย Fluorochrome conjugated antibodies ซึ่งจำเพาะต่อโมเลกุลต่างๆ และทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Flow cytometry พบว่า สารเสริมซีรั่มทั้งสองชนิดให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของส่วนประกอบของเซลล์ CD3+ (p= 0.54), CD56+ (p= 0.31), และ CD3+CD56+ (p= 0.64) (รูปที่ 6) รวมถึงอัตราส่วนของ T cells ได้แก่ CD4+ (p= 0.7) และ CD8+ (p= >0.99) (รูปที่ 7)



รูปที่ 6 ส่วนประกอบของ PiggyBac CD19 CAR T Cells (n=5)

โดย CD3+ p=0.54 , CD56+ p= 0.31, CD3+CD56+ p = 0.64

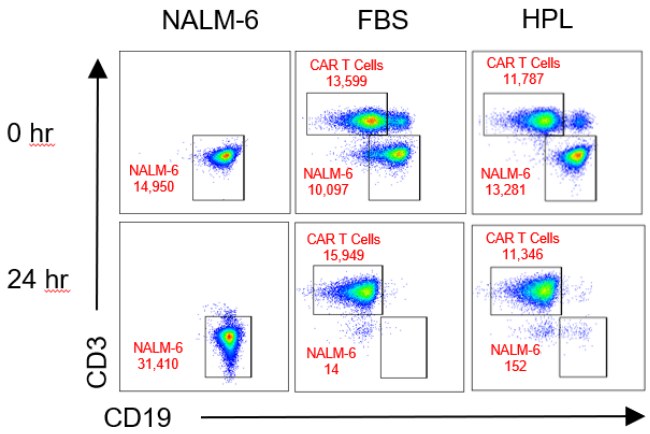


รูปที่ 7 อัตราส่วนของ CD4+ และ CD8+ บน PiggyBac CD19 CAR T Cells (n=5)

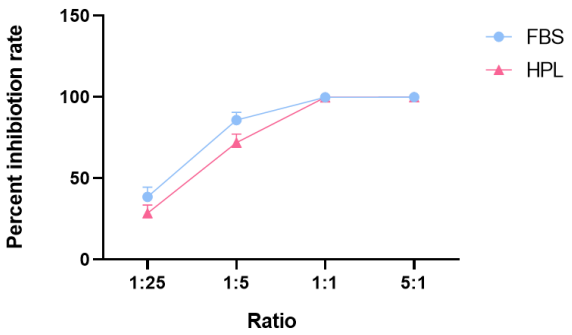
โดย CD4+ p=0.7, CD8+ p= >0.99

5.4 ผลของสารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกันต่อความสามารถในการฆ่าเซลล์มะเร็งเป้าหมาย

เพื่อทดสอบคุณสมบัติของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ในการตอบสนองต่อเซลล์มะเร็งเป้าหมาย จะทำการเพาะเลี้ยง PiggyBac CD19 CAR T Cells ร่วมกับ เซลล์มะเร็งเป้าหมาย (NALM-6) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในอัตราส่วนของ CAR T Cells ต่อ NALM-6 (Effector to target, E:T) ได้แก่ 1:25, 1:5, 1:1 และ 5:1 หลังจากครบเวลาจะเก็บเซลล์ทั้งหมดมาย้อมด้วย Fluorochrome conjugated antibodies ซึ่งจำเพาะต่อ PiggyBac CD19 CAR T Cells และ NALM-6 จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Flow cytometry ผลการทดสอบ พบว่า สารเสริมซีรั่มทั้ง 2 ชนิดสามารถฆ่า NALM-6 ได้ และมีอัตราการยับยั้งการเจริญเติบโตของ NALM-6 ในแต่ละอัตราส่วน ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่สารเสริมซีรั่มทั้ง 2 ชนิดสามารถฆ่า NALM-6 ได้อย่างสมบูรณ์ (ฆ่ามะเร็งได้มากกว่า 90%) ที่อัตราส่วน 1:1 และ 5:1 โดย E:T 1:25 มี p=0.31, E:T 1:5 มี p=0.1, E:T 1:1 มี p=0.6 และ E:T มี 5:1 p=0.6 (รูปที่ 8-9)



รูปที่ 8 จำนวนของ PiggyBac CD19 CAR T Cells และ NALM-6
ที่ถูกวิเคราะห์ด้วย Flow cytometry ในอัตราส่วน 1:1



รูปที่ 9 การยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเป้าหมายในอัตราส่วนที่ต่างกัน (n=5)
โดย E:T 1:25 p=0.31, E:T 1:5 p=0.1, E:T 1:1 p=0.6 และ E:T 5:1 p=0.6

6. อภิปรายผล

จากผลการทดลองทางห้องปฏิบัติการพบว่า อัตราการเจริญเติบโตของ PiggyBac CD19 CAR T Cells จำนวนของ CAR โมเลกุลบน T cells, ลักษณะและส่วนประกอบของเซลล์ที่ได้ รวมถึงคุณสมบัติในการทำลายเซลล์มะเร็งเป้าหมายของ PiggyBac CD19 CAR T Cells ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อใช้สารเสริมซีรั่มที่แตกต่างกัน จึงสามารถสรุปได้ว่า การใช้ HPL เป็นสารเสริมซีรั่มทดแทน สารเสริมซีรั่มมาตรฐาน FBS เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการผลิตเซลล์เพื่อการรักษาด้วยวิธี PiggyBac CD19 CAR T Cells

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) หากจะนำสารเสริมซีรั่ม HPL ไปใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อเพาะเลี้ยงเซลล์กับอาหารชนิดอื่นที่ไม่ใช่ TexMACs medium อาจจะต้องมีการทดสอบความเข้มข้นที่เหมาะสมก่อนการใช้งาน

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) เพิ่มการทดสอบคุณสมบัติการทำลายเซลล์มะเร็งเป้าหมายของ PiggyBac CD19 CAR T Cells กับเซลล์ไลน์ชนิดอื่น

(2) เพิ่มการทดสอบสารเสริมซีรั่มในอาสาสมัครที่ได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาว

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะความอนุเคราะห์จาก หน่วยวิจัยเซลล์ภูมิคุ้มกันบำบัด คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9. เอกสารอ้างอิง

[1] Bruce L Levine, et al. (2017). Global manufacturing of CAR T cell therapy. *Molecular Therapy-Methods & Clinical Development*, *4*, 92-101.

[2] Steven Feins, et al. (2019). An introduction to chimeric antigen receptor (CAR) T-cell immunotherapy for human cancer. *American journal of hematology*, *94*(S1), S3-S9.

[3] Sonia Guedan, et al. (2019). Engineering and design of chimeric antigen receptors. *Molecular Therapy-Methods & Clinical Development*, *12*, 145-156.

[4] Young-Ho Lee, et al. (2019). Evolution of chimeric antigen receptor (CAR) T cell therapy: current status and future perspectives. *Archives of pharmacal research*, *42*(7), 607-616.

[5] Amy Yip, et al. (2018). The market for chimeric antigen receptor T cell therapies. *Nature reviews Drug discovery*, *17*(3), 161.

[6] Shalev Fried, et al. (2019). Early and late hematologic toxicity following CD19 CAR-T cells. *Bone marrow transplantation*, *54*(10), 1643-1650.

[7] Harjeet Singh, et al. (2008). Redirecting specificity of T-cell populations for CD19 using the Sleeping Beauty system. *Cancer research*, *68*(8), 2961-2971.

[8] Mansour Poorebrahim, et al. (2019). Production of CAR T-cells by GMP-grade lentiviral vectors: latest advances and future prospects. *Critical reviews in clinical laboratory sciences*, *56*(6), 393-419.

[9] Sareina Chiung-Yuan Wu, et al. (2006). piggyBac is a flexible and highly active transposon as compared to sleeping beauty, Tol2, and Mos1 in mammalian cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(41), 15008-15013.

[10] Yan Zheng, et al. (2019). PiggyBac transposon system with polymeric gene carrier transfected into human T cells. *American journal of translational research*, *11*(11), 7126.

[11] Sandra Coecke, et al. (2005). Guidance on good cell culture practice: a report of the second ECVAM task force on good cell culture practice. *Alternatives to Laboratory Animals*, *33*(3), 261-287.

[12] Ohad Karnieli, et al. (2017). A consensus introduction to serum replacements and serum-free media for cellular therapies. *Cytotherapy*, *19*(2), 155-169.

[13] Hatim Hemeda, et al. (2014). Evaluation of human platelet lysate versus fetal bovine serum for culture of mesenchymal stromal cells. *Cytotherapy*, *16*(2), 170-180.

[14] Charlotte Saury, et al. (2018). Human serum and platelet lysate are appropriate xeno-free alternatives for clinical-grade production of human MuStem cell batches. *Stem cell research & therapy*, *9*(1), 1-20.

[15] Hoda E Mohamed, et al. (2020). Human platelet lysate efficiency, stability, and optimal heparin concentration required in culture of mammalian cells. *Blood research*, *55*(1), 35.

[16] Emanuele Canestrari, et al. (2019). Human platelet lysate media supplement supports lentiviral transduction and expansion of human T lymphocytes while maintaining memory phenotype. *Journal of immunology research*, *2019*.

[17] Alejandro Torres Chavez, et al. (2019). Expanding CAR T cells in human platelet lysate renders T cells with in vivo longevity. *Journal for ImmunoTherapy of Cancer*, *7*(1), 1-15.

[18] Yozo Nakazawa, et al. (2009). Optimization of the PiggyBac transposon system for the sustained genetic modification of human T-lymphocytes. *Journal of immunotherapy (Hagerstown, Md.: 1997)*, *32*(8), 826.

การผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางและประยุกต์ใช้ในโลชั่นบำรุงผิว

PRODUCTION OF HYDROLYZED STRAW MUSHROOM AND APPLIED IN BODY LOTION

สุรีย์รัตน์ รักเหลือ*, ปาริชาติ อยู่แพทย์

กองวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

***E-mail: sureerat.doa@gmail.com**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง เพื่อเป็นวัตถุดิบในโลชั่นบำรุงผิว โดยโปรตีนไฮโดรไลเซทที่ได้ต้องมีฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส นอกจากนี้ยังต้องมีกรดอะมิโนจำเป็นต่อผิว เช่น กรดกลูตามิค ไกลซีน โพลีน อะลานีน อาร์จีนีน และซีรีน ในการศึกษานี้ใช้เอนไซม์อัลคาเลส (Alcalase enzyme) ในการย่อยเห็ดฟางระยะดอกตูม และระยะดอกบานที่ระยะเวลาการต่างๆ เพื่อคัดเลือกโปรตีนไฮโดรไลเซทที่มีคุณภาพที่เหมาะสมที่สุด และนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิว พบว่าในการย่อยเห็ดฟางดอกบานที่ระยะ 4 ชั่วโมง ได้โปรตีนไฮโดรไลเซทที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซี 30.07% นอกจากนี้ยังพบว่าการย่อยเห็ดฟางดอกตูมที่ 3 ชั่วโมง ได้โปรตีนไฮโดรไลเซทที่ได้มีความสามารถในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูงที่สุด คือ IC_{50} มีค่าเป็น 1.72 ± 0.31 มก/มล. จึงใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางระยะดอกตูมและดอกบานร่วมกัน เพื่อให้ได้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่มีคุณสมบัติดีที่สุด จากนั้นนำไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง ซึ่งโลชั่นที่ได้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. เอส 15-2561 เรื่อง ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร โดยมีค่าความเป็นกรดด่าง 6.47 ไม่พบสารปนเปื้อนได้แก่ ตะกั่ว สารหนู ปรอท และแบเรียมที่ละลายได้ ไม่พบจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ได้แก่ *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* และ *Clostridium spp*. ผ่านการทดสอบความคงตัวแบบเร่ง (Accelerated Storage Test) แบบร้อนสลับเย็นอุณหภูมิ (4 ± 2) องศาเซลเซียส เวลา 24 ชั่วโมง อุณหภูมิ (45 ± 2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 4 รอบ ซึ่งโลชั่นที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบจำนวน 25 คน ได้ร้อยละการยอมรับผลิตภัณฑ์ 80 % และได้คะแนนทางด้านประสาทสัมผัสด้าน สี ความหนืด การซึมสู่ผิว ความเหนียวเหนอะหนะ กลิ่นหลังทา ความชุ่มชื่นหลังทา 5.24 5.16 5.08 5.16 3.92 และ 5.72 คะแนนจาก 7 คะแนน ตามลำดับ โดยผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทมีต้นทุนการผลิต 54.28 บาทต่อโลชั่น 250 กรัม

คำสำคัญ: โปรตีนจากเห็ดฟาง โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง โลชั่นเห็ดฟาง

ABSTRACT

This research aimed to produce hydrolyzed protein from straw mushroom for used as raw materials in skin lotion. The hydrolyzed protein must have biological activity such as antioxidant and tyrosinase enzyme inhibition. It also contains essential skin amino acids namely, glutamic acid, glycine, proline, alanine, arginine

and serine. This studied used Alcalase enzyme for digested straw mushroom (closed and opened caps) at the different time to selected the most suitable quality hydrolyzed straw mushroom protein. It was found that the opened cap of hydrolyzed straw mushroom protein for 4 hours obtained the highest antioxidant activity was higher than vitamin C 30.07%. In addition, it was found that the hydrolyzed straw mushroom protein for 3 hours had the highest inhibition of tyrosinase, IC_{50} was 1.72 ± 0.31 mg/ml. Therefore, they were mixing to obtain the best quality hydrolyzed straw mushroom protein. Then applied in the skin lotion products consist of hydrolyzed straw mushroom protein. The skin lotion that passed of TIS 15-2561 standards regarding herbal skin care products. The pH value was 6.47. No contaminants were found namely, lead, arsenic, mercury and soluble barium. Not found pathogenic microbial, including *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* and *Clostridium spp*. Moreover, the hydrolyzed straw mushroom protein skin lotion passed the Accelerated Storage Test in hot and cold cycles at a temperature 4 ± 2°C and 45 ± 2 °C for 4 cycles. The product acceptances were 80% when testing by 25 panelists and the sensory score in terms of color, viscosity, skin absorbed, stickiness, odor after applied and moisture were 5.24 5.16 5.08 5.16 3.92 and 5.72 points of 7 points, with hydrolyzed straw mushroom protein skin lotion products had a materials cost of 53.69 baht per 250 grams of lotions.

Keywords: Straw mushroom, Hydrolyzed straw mushroom protein, Straw mushroom lotions

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

เห็ดฟางมีปริมาณการผลิตสูงคิดเป็น 80% ของผลผลิตเห็ดทั้งหมด มีการเจริญเติบโตตลอดเวลาแม้ว่าจะเก็บเกี่ยวแล้ว เน่าเสียได้ง่าย มีระยะเวลาการเก็บรักษาสั้นเพียง 1 - 2 วัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแปรรูปเห็ดฟางสดหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อยืดอายุการใช้ประโยชน์จากเห็ดฟาง และเพิ่มการใช้ประโยชน์จากเห็ดฟางให้มีความหลากหลายมากขึ้นจากเดิมที่ใช้เพื่อการบริโภคสดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เพื่อสร้างมูลค่าให้แก่เห็ดฟาง

เห็ดฟางเป็นพืชโปรตีนสูงชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 32-33 % โดยนอกจากฟาง แห้ง 1 กรัม จะมีกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายแล้ว ยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่ความสำคัญต่อผิว คือ กรดกลูตามิก (Glutamic acid) 43.58 มิลลิกรัม ไกลซีน (Glycine) 9.65 มิลลิกรัม โพลีน (Proline) 10.59 มิลลิกรัม อะลานีน (Alanine) 14.78 มิลลิกรัม และ ซีรีน (Serine) 10.99 มิลลิกรัม (รัฐพล ศรประเสริฐ, 2538) ซึ่งกรดกลูตามิก และไกลซีน เป็นกรดอะมิโนที่สำคัญในการสร้างกลูต้าไธโอน และกรดกลูตามิก ไกลซีน โพลีน อะลานีน ซีรีน เป็นกรดอะมิโนที่สำคัญในการสร้างคอลลาเจน ช่วยคงความอ่อนเยา และคงโครงสร้างผิว รักษาความชุ่มชื้น และเสริมสร้างความยืดหยุ่นแก่ผิว โดยเฉพาะกรดกลูตามิกซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กมากสามารถอุ้มน้ำได้ดี รักษาความชุ่มชื้นไว้ที่ผิว การใช้ประโยชน์จากโปรตีนที่เหมาะสมสำหรับใช้ในเครื่องสำอางซึ่งมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก จำเป็นต้องทำให้โปรตีนอยู่ในรูปแบบที่ละลายน้ำได้ง่าย และมีขนาดอนุภาคที่เล็ก ด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส ทำให้โปรตีนขนาดใหญ่ถูกตัด ได้โปรตีนขนาดเล็ก ๆ และกรดอะมิโน โดยใช้เอนไซม์โปรติเอสในการย่อย จะได้เปปไทด์และกรดอะมิโนที่ละลายน้ำ ซึ่งมีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง (Gianfranco, 2008) ซึ่งเรียกโปรตีนที่ถูกย่อยนี้ว่า โปรตีนไฮโดรไลเซท

ผิวหนังมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ ในระหว่างวันมีการสูญเสียโปรตีนเนื่องจากการเสื่อมสภาพของเซลล์ รังสียูวี และมลภาวะ จึงสามารถนำโปรตีนไฮโดรไลเซทมาใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางเพื่อทดแทนโปรตีน

ที่เสียไประหว่างวัน โดยโปรตีนไฮโดรไลเซทขนาดเล็กมากสามารถส่งผลให้กับโปรตีนที่ผิวหนังได้โดยตรง ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอได้ เนื่องจากโปรตีนมีคุณสมบัติในการจับตัวกับน้ำ และจับตัวกับผิวหนังทำให้ให้ผิวมีความชุ่มชื้น เรียบเนียน เพิ่มความยืดหยุ่น ยกกระชับผิว ด้วยเหตุนี้เห็ดจึงเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางจากธรรมชาติ สามารถยังยับยั้งการทำงานของไฮยาลูโรนิเดส คอลลาจิเนส และอิลาสเทส ช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ผิวหนังรวมไปถึงความสามารถป้องกันรังสียูวีได้ กรดอะมิโนที่ได้จากเห็ดฟางยังมีคุณสมบัติที่ดี ปลอดภัยต่อผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) การศึกษาระยะเวลาการสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางด้วยการย่อยโดยเอนไซม์อัลคาเลส เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตมีผู้ทดลองใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากพืชในการประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง คือ อภิชญา แซ่เต๋ง และคณะ (2561) ได้ศึกษาปริมาณกรดกลูตามิกในมะเขือเทศ พบว่ามะเขือเทศมีปริมาณกรดกลูตามิกและไลโคปีนสูง ซึ่งกรดกลูตามิกและไลโคปีนนี้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอางได้ นอกจากนี้ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร (2564) ได้ผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากรำข้าวหอมมะลิ และได้นำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ได้แก่ ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว เซรั่มบำรุงผิวหน้า ครีมมาส์กหน้า เอสเซนส์ และเจลบำรุงผิว พบว่า มีกรดอะมิโนจำเป็นที่คงความนุ่มชุ่มชื้นให้ผิว ช่วยกระตุ้นการสร้างคอลลาเจนเพื่อผิวเต่งตึงและเรียบเนียน มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส และทำให้ผิวดูกระจ่างใสขึ้น มีคุณสมบัติในการซ่อมแซมผิวที่เสื่อมโทรมให้คงความชุ่มชื้น ดูอ่อนเยาว์ ยับยั้งการเกิดรอยด่างดำและลดเลือนพร้อมริ้วรอยด้วยฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ต้านการอักเสบ Oludemi *et al.* (2016) ได้กล่าวว่าเห็ดมีคุณค่าทางโภชนาการ สรรพคุณทางยา และฤทธิ์ทางชีวภาพ ทั้งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ต่อต้านวัย ต้านจุลชีพ และสารต้านการอักเสบหรือสารแก้ไขรอยดำ ในงานด้านเวชสำอางปัจจุบันได้วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ต้านเอนไซม์ไทโรซิเนส สารต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย เนื่องจากสารสกัดจากเห็ดมีกรดฟีนอลิกและองค์ประกอบของวิตามินดี 2 ซึ่งจากผลลัพธ์ในสูตรเครื่องสำอางพบว่า ยังคงมีกรดฟีนอลิกและองค์ประกอบของวิตามินดี 2 อยู่ 85%–100% แสดงว่าไม่มีการสูญเสียอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการย่อยโปรตีนในปัจจุบัน นิยมใช้การย่อยสลายโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรติเอส เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงต่อสับสเตรทสูง ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความบริสุทธิ์สูง สายเปปไทด์ของโมเลกุลโปรตีนมีขนาดสั้นลงมาก โดยเอนไซม์โปรติเอสเร่งการตัดพันธะเพปไทด์ในโปรตีนด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ทำให้สายพอลิเพปไทด์ถูกตัดเป็นเพปไทด์ที่มีขนาดสั้นลง และเกิดเป็นกรดอะมิโนอิสระ ไม่ต้องใช้เอนไซม์ในปริมาณมาก และมีสภาวะในการย่อยที่ไม่รุนแรง (เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ และคณะ, 2557) โดยเอนไซม์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ ได้แก่เอนไซม์อัลคาเลส เป็นต้น

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ทดลองผลิตโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง 2 ระยะ คือ ระยะดอกตูม และ ระยะดอกบาน โดยการย่อยด้วยเอนซ์อัลคาเลส ที่ระยะเวลาต่างๆ กัน คือ 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง ศึกษาชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญกับผิว ได้แก่ กรดกลูตามิก ไกลซีน โพลีน อะลานีน และ ซีรีน จากนั้นวิเคราะห์การออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ ฤทธิ์ใน

การต้านอนุมูลอิระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ซึ่งเป็นตัวกระตุ้นในการผลิตเม็ดสีเมลานิน จากนั้นจึงคัดเลือกกรรมวิธีการผลิตที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่ดีต่อผิว และการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ประยุกต์ใช้ในโลชั่นบำรุงผิว

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

สกัดโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่กรรมวิธีต่างๆ คัดเลือกกรรมวิธีการย่อยที่ได้โปรตีนไฮโดรไลเซทที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสดีที่สุดไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทสกัดจากเห็ดฟาง

แผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design 8 กรรมวิธี จำนวน 3 ซ้ำ ดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 เห็ดฟางในระยะดอกตูม สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 2 เห็ดฟางในระยะดอกตูม สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 3 เห็ดฟางในระยะดอกตูม สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 4 เห็ดฟางในระยะดอกตูม สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 5 เห็ดฟางในระยะดอกบาน สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 6 เห็ดฟางในระยะดอกบาน สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 7 เห็ดฟางในระยะดอกบาน สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง
- กรรมวิธีที่ 8 เห็ดฟางในระยะดอกบาน สกัดด้วยเอนไซม์ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง

4.2 เครื่องมือวิจัย

<u>วัตถุดิบ</u>

1. เห็ดฟางในระยะดอกตูม และระยะดอกบาน

<u>สารเคมี</u>

1. เอนไซม์อัลคาเลส (Protease from *Bacillus licheniformi*, Sigma-aldrich)
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Ajax)
3. น้ำกลั่น
4. สารเคมีสำหรับทำโลชั่น (Chemipan) ได้แก่ ไดโซเดียม อีดีทีเอ (Disodium EDTA) กลีเซอรีน (Glycerine) วิสโคลาม (Viscolam at 100P) ซิเทริลแอลกอฮอล์ (Cetearly alcohol) อิมัลซิไฟอิง แวกซ์ (E-wax, Chemiphan) พีอีจี40 ไฮโดรจีเนท แคสเตอร์ออยล์ (PEG-40 Hydrogenated Castor oil) น้ำมันมะกอกสกัดเย็น (Extra virgin olive oil) ไอโซโพรพิล ไมริสเตท (Isopropyl Myristate) วิตามินอี อะซิเตท (Vitamin E Acetate) วิตามินบี 3 (Niacinamide) วิตามินบี 5 (Pantothenic acid) วิตามินซีเครื่องสำอาง (Sodium Ascorbyl Phosphate) กรดไกลคอลิค (Glycolic acid) น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) หัวน้ำหอม (Fragrant) สารกันเสีย (Microcare (PHC))

<u>อุปกรณ์</u>

1. อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ เช่น ขวดแก้ว บีกเกอร์ แท่งแก้วคนสาร เครื่องวัดอุณหภูมิ เป็นต้น
2. เครื่องกวนผสม (IKA, Model C-Mag HS 7)
3. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Model ME204)

4. เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (BWS Trading, Model BWS-USC-1)

5. เครื่องปั่นอาหารเอนกประสงค์ (Toshiba, Model BL T100GS)

6. เครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (LSI, Model Lyodryer LT)

7. เครื่องปั่นขึ้นครีม (Star, Model SK9331)

8. เครื่องมือในการวิเคราะห์ ได้แก่ เครื่องวัด pH แบบพกพา (Hand pH meter Testo, Model 206 pH1) เครื่องวัดสี (Konica Minolta Chroma meter, Model CR-400) เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Novasina, Model TH 200) ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิ

4.3 ขั้นตอนการทำวิจัย

1. การเตรียมเห็ดฟางดอกตูม และเห็ดฟางดอกบานอบแห้งบดละเอียด

เตรียมเห็ดฟางทั้ง 2 ระยะ ได้แก่ ระยะดอกตูม และระยะดอกบาน ล้างทำความสะอาด ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำเข้าเครื่องสไลด์เป็นแผ่น ๆ นำไปเรียงในถาด อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น

2. การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางด้วยการย่อยโดยเอนไซม์อัลคาเลส

2.1 นำเห็ดฟางบดละเอียดใส่ในน้ำกลั่น ให้ความร้อนสารละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปรับ pH เป็น 8.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 mol/L กวนผสมตลอดเวลา เติมเอนไซม์อัลคาเลส ควบคุมอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และ pH 8.0 ตลอดการย่อย กวนผสมตลอดระยะเวลาตามกรรมวิธี

2.2 หยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ โดยต้มสารละลายในอ่างน้ำร้อน ทำให้สารละลายเย็นลงจนมีอุณหภูมิห้อง

2.3. นำสารละลายไปเหวี่ยงทิ้งตะกอนด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็วสูง

2.4. นำส่วนที่เป็นของเหลวใสไปทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -70 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์แล้วปิดสนิท เก็บที่อุณหภูมิ -25 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้งาน

3. การประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ได้แก่ โลชั่นบำรุงผิว

นำโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่ผ่านการคัดเลือกจากกรรมวิธีที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิว โดยนำสูตรโลชั่นทั่วไปมาปรับปรุงสูตร จำนวน 3 สูตร เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและความคงตัวหลังการทดสอบความคงตัวที่สภาวะแบบเร่งร้อนสลับเย็น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของโลชั่นบำรุงผิวสูตรต่าง ๆ

Phase	No.	Details	1	2	3
A	1	Distilled water	67.88	72.38	72.38
A	2	Disodium EDTA	0.10	0.10	0.10
A	3	Glycerin	3.00	1.50	1.50
B	4	Viscolam at 100P	2.00	2.00	1.50
C	5	Cetearly alcohol	2.00	2.00	2.00
C	6	E-wax	3.00	1.00	1.00
C	7	PEG 40	2.00	1.00	1.50
C	8	Extra virgin olive oil	3.00	3.00	3.00

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Phase	No.	Details	1	2	3
C	9	Isopropyl Myristate	3.00	3.00	3.00
C	10	Vitamin E Acetate	0.20	0.20	0.20
D	11	Niacinamide	3.00	3.00	3.00
D	12	Pantothenic acid	1.00	1.00	1.00
D	13	Sodium Ascorbyl Phosphate	1.00	1.00	1.00
D	14	Hydrolyzed mushroom	0.50	0.50	0.50
D	15	Distilled water	7.00	7.00	7.00
D	16	Glycolic acid	0.02	0.02	0.02
E	17	Essential oil	0.25	0.25	0.25
E	18	Fragrant	0.25	0.25	0.25
E	19	Microcare (PHC)	0.80	0.80	0.80
Total			100.0	100.0	100.0

เฟส A และ B คือเฟสของน้ำ เฟส C คือไขมัน เฟส D คือสารสกัดและสาระสำคัญ และ เฟส E คือสารเติมแต่ง

4. คำนวณต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง และผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. เห็ดฟางอบแห้งบดละเอียดและ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง

- องค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด โปรตีน ไขมันทั้งหมด เถ้า
- ปริมาณความชื้น และ ค่าปริมาณน้ำอิสระ (Aw)
- ค่าสี
- ผลผลิตที่ได้ (%)
- ปริมาณกรดอะมิโน 15 ชนิด ได้แก่ กรดแอสปาติก (Aspartic acid) ทรีโอนีน (Threonine) ซีรีน กรดกลูตามิก โพรลีน ไกลซีน อะลานีน วาลีน (Valine) ไอโซลิวซีน (Isoleucine) ลิวซีน (Leucine) ไลซีน (Tyrosine) ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine) ฮิสทีดีน (Histidine) ไลซีน (Lysine) และ อาร์จีนีน
- ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเทียบกับวิตามินซีด้วยวิธี DPPH
- ฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสในหลอดทดลอง Kojic acid เป็นสารมาตรฐาน ด้วยวิธี Dopachrome method

2. โลชั่นบำรุงผิว (อ้างอิงตาม มอก. เอส 15-2561 เรื่องผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร)

- ค่าสี
- pH
- ความคงตัวในสภาวะแบบเร่งร้อนสลับเย็น ที่อุณหภูมิ 45 และ 4 องศาเซลเซียส จำนวน 4 รอบ

- ความชอบทางด้านประสาทสัมผัส ด้วย 7 point hedonic scale ได้แก่ ความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ความเหนียวเหนอะหนะ การซึมสู่ผิว และการยอมรับผลิตภัณฑ์

- สารปนเปื้อน ได้แก่ ตะกั่ว ปรอท สารหนู และแบเรียมที่ละลายได้

- จุลินทรีย์ปนเปื้อน ได้แก่ Total Aerobic Plate count, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* และ *Clostridium spp*.

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การเตรียมเห็ดฟางดอกตูม และเห็ดฟางดอกบานอบแห้งบดละเอียด

เตรียมเห็ดฟางดอกตูมอบแห้งบดละเอียด ซึ่งมีค่าผลผลิตเท่ากับ 9.48 % และมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 52.94% โปรตีน 32.87% ไขมันทั้งหมด 2.83% เถ้า 9.34% ปริมาณความชื้น 2.02% และมีปริมาณน้ำอิสระ (aw) เท่ากับ 0.139 และมีลักษณะทางกายภาพด้านสีดังนี้ ค่าความสว่าง (L*) 49.108 ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a*) 3.484 และค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) 5.619 ตัวอย่างจึงมีลักษณะค่อนไปทางสีเหลืองผสมน้ำตาล

เตรียมเห็ดฟางดอกบานอบแห้งบดละเอียด ซึ่งมีค่าผลผลิตเท่ากับ 7.98 % และมีองค์ประกอบทางเคมีดังนี้ คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 52.85% โปรตีน 32.05% ไขมันทั้งหมด 3.73% เถ้า 9.12% และปริมาณความชื้น 2.25% โดยมีปริมาณน้ำอิสระ (aw) เท่ากับ 0.137 และมีลักษณะทางกายภาพด้านสี ดังนี้ ค่าความสว่าง (L*) 42.273 ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (a*) 4.302 และค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (b*) 5.775 ตัวอย่างจึงมีลักษณะค่อนไปทางสีเหลืองผสมน้ำตาล

2. การสกัดโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางด้วยการย่อยโดยเอนไซม์อัลคาเลส

จากการย่อยเห็ดฟางบดละเอียด ด้วยเอนไซม์อัลคาเลสที่ระยะเวลา 2 3 4 และ 5 ชั่วโมง พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์มีความชื้นสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเห็ดฟางอบแห้งบดละเอียด เนื่องจากโปรตีนไฮโดรไลเซทถูกตัดพันธะให้สั้นลง ทำให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจึงสามารถดูดความชื้นกลับได้เร็ว (เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ และคณะ, 2557) โดยมีความชื้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ โปรตีนไฮโดรไลเซทที่ได้มีค่าสีเปลี่ยนแปลงไปจากเห็ดตูมและเห็ดฟางอบแห้งบดละเอียด โดยมีค่าความสว่าง (L*) ต่ำลง อยู่ในช่วง 34.24–37.98 มีค่าความเป็นสีแดง (a*+) สูงขึ้น อยู่ในช่วง 4.54–5.52 มีค่าความเป็นสีเหลือง (b*+) ต่ำลงอยู่ในช่วง -1.58 ถึง 1.98 ทำให้โปรตีนไฮโดรไลเซทมีสีคล้ำลง เป็นสีแดงมากขึ้น และเป็นสีเหลืองลดลง สีของโปรตีนไฮโดรไลเซทจาดเห็ดฟาง จึงมีสีออกน้ำตาลแดงคล้ำๆเนื่องมาจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลชนิดไม่มีเอนไซม์ (Non enzymatic reaction) หรือ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการย่อย เนื่องจากเห็ดฟางอบแห้งบดละเอียดยังคงมีน้ำตาลรีดิวซ์อยู่จึงถูกออกซิไดซ์เป็นสารมีสี โดยมีน้ำ ความร้อน และระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Qinchun et al., 2016) ดัง ตารางที่ 2 โดยกรรมวิธีที่ 3 คือเห็ดฟางดอกตูมย่อยที่ 4 ชั่วโมง มีค่าผลผลิตได้สูงสุดคือ 63.78 % โดยน้ำหนักแห้ง และกรรมวิธีที่ 5 คือเห็ดฟางดอกบานย่อยที่ 2 ชั่วโมง มีค่าผลผลิตได้ต่ำสุดคือ คือ 45.13 % โดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่ระยะเวลาการย่อยต่างๆ (CL แทนระยะดอกตูม และ OP แทนระยะดอกบาน)

Methods	Code	% Yield wet basis	% Yield dry basis	% Moisture	Aw	Color		
						L*	a*	b*
1	CL2	55.50 ab	51.21 ab	4.29	0.123 a	37.98 a	5.06	0.67 ab
2	CL3	61.25 ab	54.95 ab	6.30	0.161 b	35.84 ab	4.54	0.01 ab
3	CL4	69.75 a	63.78 a	5.97	0.157 b	36.80 ab	5.52	-0.77 b
4	CL5	57.25 ab	51.30 ab	5.95	0.170 b	36.61 ab	5.24	-1.22 b
5	OP2	50.25 b	45.13 b	5.12	0.162 b	36.23 ab	4.82	0.08 ab
6	OP3	62.00 ab	55.89 ab	6.11	0.171 b	34.24 b	4.84	1.98 a
7	OP4	54.00 ab	47.27 ab	6.73	0.167 b	35.27 ab	4.77	-0.83 b
8	OP5	64.15 ab	57.91 ab	6.24	0.168 b	35.98 ab	5.44	-1.58 b

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05)

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อระยะการย่อยนานขึ้น โปรตีนไฮโดรไลเซทมีกรดอะมิโนส่วนมากมีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ กรดแอสปาร์ติก ทรีโอนีน ซีรีน กรดกลูตามิก โพลีน ไกลซีน อะลานีน วาลีน ไอโซลิวซีน ฮิสทีดีน เนื่องจากเอนไซม์สามารถทำปฏิกิริยากับเห็ดฟางได้มากขึ้น ส่วน ลิวซีน ไทโรซีน ฟีนิลอะลานีน ไลซีน อาร์จีนีน มีแนวโน้มคงที่ หรือลดลงเล็กน้อย แต่เมื่อการย่อยดำเนินไปถึงระดับหนึ่งกรดอะมิโนที่ดีต่อผิวจะมีจำนวนน้อยลงเนื่องจากมีการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ ได้กรดอะมิโนชิดอื่นเพิ่มสูงขึ้น เช่น ไทโรซีน ฮิสทีดีน เป็นต้น สำหรับกรดอะมิโนที่เพิ่มขึ้นสูงมากคือ กรดกลูตามิก จากสมบัติของปริมาณกรดอะมิโนที่มีความสำคัญกับผิวหนัง กรรมวิธีที่ 2 6 และ 7 คือ กรดอะมิโนจากการย่อยเห็ดฟางดอกตูมที่ 3 ชั่วโมง เห็ดฟางดอกบาน ที่ระยะเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ มีปริมาณกรดอะมิโนสำคัญสำหรับผิวหนังที่ดีกว่ากรรมวิธีอื่นๆ

ตารางที่ 3 โปรไฟล์กรดอะมิโนของโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่ระยะเวลาการย่อยต่างๆ

No.	**Amino acid Profile Unit (mg/100g)**	**Methodes**									
		Closed cap	Opened cap	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
				CL2	CL3	CL4	CL5	OP2	OP3	OP4	OP5
1	Aspartic acid	2479.6	2302.1	2653	2740.9	2486.4	2676.3	2677.6	2701.7	2677.2	2603.7
2	Threonine	1380	1287.5	1509.5	1545.6	1481.2	1461.9	1479.7	1487	1548.2	1464.9
3	**Serine**	1413.2	1271.9	1485.7	**1509.2**	1404.9	1464.5	1456.9	1473.2	1458.1	1473
4	**Glutamic acid**	4774.8	4756.1	5192.5	5460.2	4937.1	5096.5	5709.9	**5728.3**	5594.2	5582.8
5	**Proline**	1118.1	1040.9	1247.2	**1386.8**	1241.8	1344.1	1293.5	1312.9	1313.6	1197.3
6	**Glycine**	1204	1139.7	1301.4	1300.9	1242.3	1275.6	1277.6	1310.9	**1345.4**	1311.1
7	**Alanine**	1992.6	1860.7	2167.6	2208.5	2155.9	2153.1	2225.1	2212.5	**2299.7**	2199.2
8	Valine	1484	1373.3	1751.6	1834.2	1754.7	1827.5	1874.5	1847.4	1801.1	2005.7
9	Isoleucine	1190.7	1160.6	1483	1432.9	1403.6	1460.2	1421.2	1424.1	1433.1	1423
10	Leucine	1472.4	1260.6	1360.3	1350.9	1171.6	1299.3	1599.7	1659.1	1590	1639.4
11	Tyrosine	750.8	729.2	730.7	768.9	629.2	778.3	737.4	804.9	770.9	813.4
12	Phenylalanine	1103.5	990.1	918.5	916.8	729.7	914.3	929.4	962.8	905.2	897.7
13	Histidine	454.4	445.6	490.7	579.9	503.4	522.5	580.9	574.9	547.2	466.9
14	Lysine	1607.4	1339.4	1608.2	1642.4	1348.1	1505.1	1401.2	1485.5	1496.8	1474.8
15	**Arginine**	1420.9	1209.9	1241.1	**1288**	1185.8	1193.6	1177.4	1087.7	1155.2	1034.6

เมื่อศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางทุกกรรมวิธี มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าวิตามินซีที่เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งกรรมวิธีที่ 7 คือ การย่อยเห็ดฟางดอกบานที่ 4 ชั่วโมง มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงสุดคือ 32.20% ซึ่งมากกว่าวิตามินซี 30.07% แต่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสต่ำเพียง IC_{50} = 144.15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่กรรมวิธีที่ 2 คือโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางดอกตูมย่อยที่ 3 ชั่วโมง มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสสูง IC_{50} = 1.72 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน คือ ปริมาณกรดอะมิโนที่สำคัญต่อผิวหนัง ฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส ดังนั้นจึงคัดเลือกกรรมวิธีที่ 2 ร่วมกับกรรมวิธีที่ 7 คือ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางดอกตูมย่อยที่ 3 ชั่วโมง ร่วมกับ โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางดอกบานย่อยที่ 4 ชั่วโมง ผสมกันในอัตราส่วน 1:1 เพื่อให้ได้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางที่มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้งต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนส

3. การประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง ได้แก่ โลชั่นบำรุงผิว

ประยุกต์ใช้โปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางในผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิว โดยปรับสารเคมีต่างๆ ให้ได้เนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน จำนวน 3 วิธี พบว่า กรรมวิธีที่ 1-3 จาก มี pH อยู่ในค่ามาตรฐาน มอก. เอส 15-2561 เรื่อง ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร (3.5 ถึง 7.5) คือมีค่าอยู่ในช่วง 5.544 – 7.177 สำหรับค่าความสว่าง ค่าความเป็นสีแดง (a*+) สีเหลือง (b*+) ของโลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง มีความแตกต่างกันเล็กน้อย

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของโลชั่นบำรุงผิวสูตรต่างๆ

Methods	Color			pH
	L*	a*	b*	
1	50.928 a	1.199 a	5.186 b	6.469 a
2	51.622 a	1.158 a	5.582 a	6.417 a
3	51.327 a	1.226 a	5.490 a	6.696 b

Means within the same column followed by different letter are significantly different (P<0.05).

นำโลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางไปทำการทดสอบความคงตัวที่สภาะเร่ง โดยการเร่งด้วยอุณหภูมิเย็นสลับร้อน ได้ดัง ภาพที่ 1 พบว่ากรรมวิธีที่ 1 ผ่านการทดสอบที่สภาวะเร่งเพียงกรรมวิธีเดียว ยังคงมีความคงตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนกรรมวิธีอื่น ๆ ผลิตภัณฑ์โลชั่นมีการแยกชั้นๆ ดังนั้น จึงคัดเลือกกรรมวิธีที่ 1 นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพก่อนและหลังการทดสอบด้วยสภาวะเร่ง ซึ่งโลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทสกัดจากเห็ดฟางไม่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ดังนั้นจึงเลือกกรรมวิธีที่ 1 ในการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสต่อไป

Method 1 **Method 2** **Method 3**

ภาพที่ 1 ความคงตัวของผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวที่ผ่านการทดสอบที่สภาวะเร่ง

ทดสอบความชอบทางด้านประสาทสัมผัส และการยอมรับของผู้บริโภค ด้วยวิธี 7-points Hedonic scale ผู้ทดสอบจำนวน 25 คน โดยการทาที่แขน ทดสอบความชอบด้าน สี ความหนืด การซึมสู่ผิว ความเหนียวเหนอะหนะ กลิ่นหลังทา ความชุ่มชื่นหลังทา และการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยมีระดับคะแนนดังนี้ ด้านสี 5.24 คะแนน ความหนืด 5.16 คะแนน การซึมสู่ผิว 5.08 คะแนน ความเหนียวเหนอะหนะ 5.16 คะแนน กลิ่นหลังทา 3.92 คะแนน ความชุ่มชื่นหลังทา 5.76 คะแนน และมีอัตราการยอมรับผลิตภัณฑ์ที่ 80% ซึ่งไม่พบผู้แพ้หรือมีผื่นแดงขึ้น

การทดสอบสารปนเปื้อนต้องห้ามตามมาตรฐาน มอก. เอส 15-2561 ตรวจพบตะกั่วในปริมาณน้อยมาก และตรวจไม่พบ ปรอท สารหนู และแบเรียมที่ละลายได้ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. เอส 15-2561 ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร สำหรับตะกั่วอาจปนเปื้อนมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิว เนื่องจากมีการใช้โลหะคือ เครื่องปั่น

การวิเคราะห์จุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง ได้แก่ Total Aerobic Plate count, *Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus, Candida albicans* และ *Clostridium* spp. พบว่า พบจำนวนรวมของแบคทีเรียที่เจริญเติบโตโดยใช้อากาศในปริมาณ 300 CFU/g ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐาน มอก. เอส 15-2561 คือ 1000 CFU/g และตรวจไม่พบจุลินทรีย์ที่ก่อโรคชนิดอื่น ดังนั้นผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจึงผ่านมาตรฐาน มอก. เอส 15-2561 ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร

4. คำนวณต้นทุนการผลิต

คำนวณต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางปริมาณ 250 กรัม โดยไม่คิดต้นทุนค่าไฟฟ้า ค่าอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ค่าเสื่อมราคาของเครื่องมือ ค่าแรงงาน และค่าบรรจุภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์โลชั่นบำรุงผิวผสมโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟางปริมาณ 250 กรัม มีต้นทุนค่าวัตถุดิบ 53.69 บาท ซึ่งมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำมาก

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) วัตถุดิบโปรตีนไฮโดรไลเซทจากเห็ดฟาง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์บำรุงผิวอื่นๆ ได้ เช่นผลิตภัณฑ์ครีมลดเลือนริ้วรอย เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ต้องขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว) และกรมวิชาการเกษตร ผู้ซึ่งให้ทุนในการศึกษาวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ และ บูรณัตร ศรีทองแท้. 2557. การดัดแปรสมบัติของโปรตีนโดยใช้เอนไซม์โปรติเอสและการประยุกต์ใช้. *ว.วิทย. มข.(2557)* 42(2). 274-288.

มอก. เอส 15-2561 ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร. 2561. กำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมเอส ผลิตภัณฑ์บำรุงผิวผสมสมุนไพร (พ.ศ. 2561). สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม.

รัฐพล ศรประเสริฐ. 2538. การเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนละกรดอะมิโนในเส้นใยและดอกเห็ด. *นิตยาสารอาหาร* ปีที่ 25 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2538: 178-184.

สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร . 2564. ต้นแบบผลิตภัณฑ์สารสกัดโปรตีนรำข้าวจากงานวิจัย. [ออนไลน์] ค้นเมื่อ 9 มกราคม 2564, จาก https://kapi.ku.ac.th/kapioku/rice-protein-extract.

อภิชญา แซ่เต๋ง ณัฏฐา เลาหกุลจิตติ และ อรพิน เกิดชูชื่น. 2561. การสกัดกรดกลูตามิกจากมะเขือเทศ. *ว. วิทย์. กษ.* 49(2) (พิเศษ): 497-500.

Gianfranco, S. 2008. Role of protein in cosmetics. *Article in Clinics in Dermatology* · July 2008.

Oludemi, T., A.H. Sandrina, C.C. Ricardo, J.A. Maria, B. Lillian, M.F. Barreiro, A.M. González-Paramás, and C. Isabel, F.R. Ferreira. 2016. Development of Mushroom-Based Cosmeceutical Formulations with Anti-Inflammatory, Anti-Tyrosinase, Antioxidant, and Antibacterial Properties. *Molecules 2016,* 21, 1372; 1-12.

Qinchun, R., A.K. Kamdar and T.P. Labuza. 2016. Storage stability of food protein hydrolysate; A review. *Critical review in Food Science and Nutrition* 56(7): 1169-1192.

การศึกษาประสิทธิภาพและความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล TELEMEDICINE สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (HOME ISOLATION) กรณีศึกษา : ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 HOME ISOLATION COORDINATION CENTER (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ

A STUDY ON EFFICIENCY AND READINESS OF THE TELEMEDICINE SYSTEM FOR GREEN LEVEL COVID-19 PATIENT HOME ISOLATION PROGRAM CASE STUDY: COVID-19 HOME ISOLATION COORDINATION CENTER (HICC) THAMMASAT UNIVERSITY HOSPITAL

วัชรินทร์ ศรีเกษ
วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต
E-mail: Watcharin.s63@rsu.ac.th
ชุติมา เบี้ยวไข่มุข
วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต
E-mail: Chutima@rsu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน ของศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจแบบสอบถาม กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มผู้ป่วย COVID-19 สำหรับการศึกษาด้านประสิทธิภาพของระบบ กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรคำนวณ ทาโร่ ยามาเน่ (Taro Yamane, 1967) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำนวน 344 คน และกลุ่มแพทย์ พยาบาล เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ สำหรับศึกษาด้านความพร้อมใช้ของระบบ จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถามออนไลน์ (Google Forms) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่า t-test และค่า F-test ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของระบบ 3 ด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ประกอบด้วย ด้านความพึงพอใจต่อระบบ ด้านประโยชน์ และด้านการใช้งาน เนื่องจากระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล มีส่วนช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางมารับบริการ การลดระยะเวลามารอรับบริการ ลดการเผชิญความแออัดในสถานพยาบาล ผลการวิเคราะห์ความพร้อมใช้ของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าด้านศักยภาพและประสิทธิผลในการประยุกต์ใช้ระบบบริการทางการแพทย์ทางไกลอยู่ในระดับมากที่สุด เนื่องจากระบบสามารถบริหารจัดการในสถานการณ์การแพร่ระบาด COVID-19 รองลงมาเป็นด้าน

ความพร้อมของระบบอยู่ในระดับมาก ทำให้สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้โดยง่าย และด้านความพร้อมองค์กรอยู่ในระดับมาก โดยได้รับการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ ความพร้อมของบุคลากร รวมถึงงบประมาณในการดำเนินงาน

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพ, ความพร้อม, ระบบการแพทย์ทางไกล, การแยกตัวอยู่บ้าน, ผู้ป่วยโควิด-19 กลุ่มสีเขียว

ABSTRACT

This research aimed to study the effectiveness and readiness of a telemedicine service system for green covid-19 patients' home isolation at the Home Isolation Coordination Center (HICC), Thammasat University Hospital. This quantitative research. The data collected from the survey. The research sample was divided into two groups: 344 patients with COVID-19 for the system effectiveness study and 30 physicians, nurses, and operating agents for the system readiness study. The research tool was an online questionnaire. The statistics used for data analysis were percentage, mean, standard deviation, t-test, and F-test. The results showed that the System efficacy in three aspects was at the highest level, comprising satisfaction with the system, usefulness, and usability. It is because the telemedicine service system could reduce the cost of traveling to receive services, the waiting time for service, and facing hospital congestion. The overall assessment of the system's state of readiness was high-level. When considering each item, discover that the performance and effectiveness of applying the telemedicine service system were at the highest level. It is because the system could help in managing the COVID-19 epidemic situation. The system's readiness was of a high level since it is easy to respond to users. The organization's readiness was also at a high level of tools and equipment, personnel, and the operating budget was supported.

Keywords: Efficiency, Readiness, Telemedicine, Home Isolation, COVID-19 Patients' Green Group

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อโคโรนาไวรัสสายพันธ์ใหม่ 2019 หรือโควิด-19 (COVID-19) ทำให้เกิดภาวะวิกฤตในทุกภาคส่วนของสังคม ทั้งด้านการท่องเที่ยวและการบิน การส่งออก การศึกษา การจ้างงาน รวมถึงด้านสาธารณสุข ปัญหาการควบคุมโรค ปัญหาด้านการจัดการทรัพยากรในระบบบริการสุขภาพ (PakornR , 2563) การขาดแคลนเตียงในโรงพยาบาลหลักมีไม่เพียงพอต่อการให้การบริการ การสร้างโรงพยาบาลสนามเพื่อรองรับผู้ติดเชื้อที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นรายวัน ด้วยภาวะวิกฤตรุนแรงในด้านสาธารณสุข ระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่นำมาใช้เพื่อดูแลรักษาผู้ป่วยโควิด-19 โดยให้บริการแบบ Home Isolation (HI) เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาผู้ป่วยล้นเตียง โดยสถานพยาบาลต้นแบบที่มีการให้บริการดูแลรักษาผู้ป่วยโควิด-19 แบบ Home Isolation (HI) คือโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ มีส่วนรับผิดชอบเกี่ยวข้องกับโควิด-19 หลายอย่าง ทั้งบริการศูนย์ฉีดวัคซีน การรับดูแลรักษาผู้ป่วยกลุ่มสีแดงในโรงพยาบาลหลัก การรับดูแลรักษาผู้ป่วยกลุ่มสีเหลืองในโรงพยาบาลสนาม และการรับดูแลรักษาผู้ป่วยกลุ่มสีเขียวในศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC)(สุรพล นิติไกรพจน์, 2564) ผลกระทบจากการระบาด

ของโรคโควิด-19 หลายระลอกในไทย สร้างความเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่ความปกติรูปแบบใหม่ หรือ New normal (รุจพ์สวัตต์ ครองภูมินทร์, 2564) การเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับรูปแบบการรักษาผู้ป่วยโควิด-19 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine โปรแกรมหรือแพลตฟอร์มทางเทคโนโลยีสารสนเทศต่างๆ ถูกนำมาใช้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งถือเป็นรูปแบบใหม่และมีความท้าทายต่อความพร้อมรวมถึงประสิทธิภาพของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine ว่าจะสามารถช่วยบรรเทาปัญหาได้เพียงใด ในขณะที่เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การปรับตัวและการเรียนรู้จึงเป็นสิ่งสำคัญ ผู้วิจัยจึงนำแนวคิดเรื่องความพร้อมทางเทคโนโลยีมาเป็นแนวทางในการศึกษาเกี่ยวกับความพร้อมใช้ของเทคโนโลยีด้านสุขภาพที่ถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการข้อมูลผู้ป่วยโควิด-19 ตลอดจนการรักษาผู้ป่วยจนหายเป็นปกติ ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงความพร้อมใช้และประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจในการศึกษาถึงประสิทธิภาพและความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) กรณีศึกษา : ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ หัวใจสำคัญสำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) ในเวลานี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน ของศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ในมุมมองของผู้ป่วย

2) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน ของศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ในมุมมองของผู้ใช้ระบบ ประกอบด้วยแพทย์ พยาบาล และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

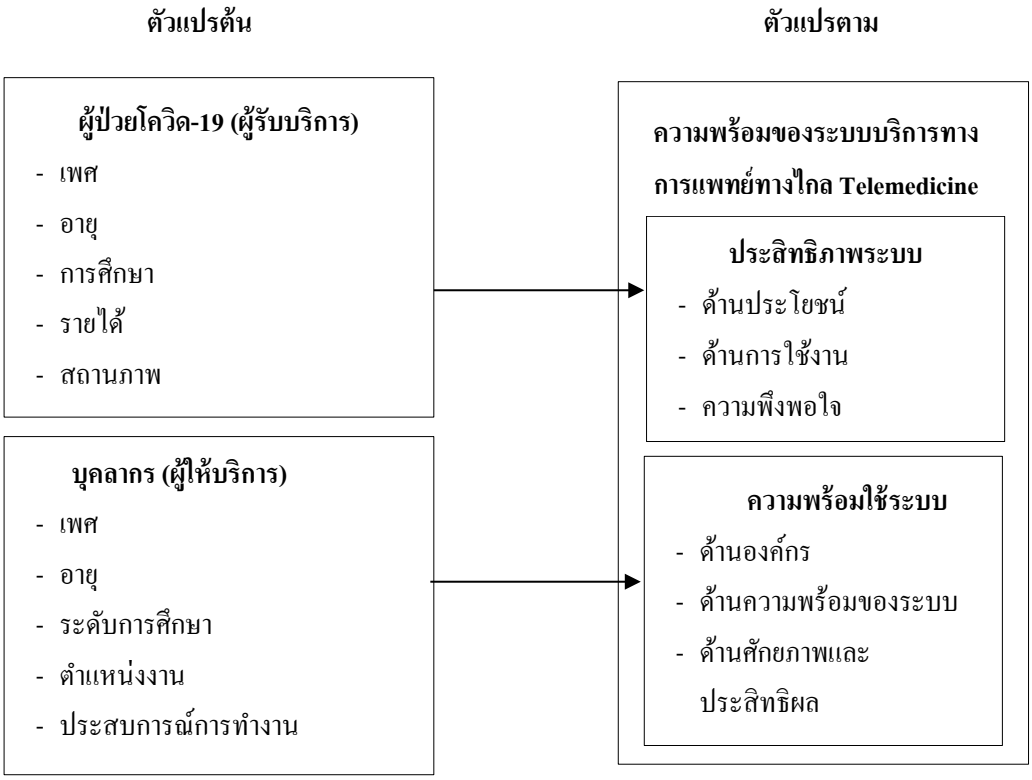
Telemedicine มาจากภาษากรีก โดยแยกเป็นคำว่า “Tele” หมายถึง ระยะทาง ส่วนคำว่า “Medicine” มีรากศัพท์มาจากภาษาละติน “Mederi” หมายถึง การรักษา แต่หากจะเรียกตามภาษาไทย จะเรียกได้หลายคำเช่น การแพทย์ทางไกล คลินิกแพทย์ออนไลน์ โทรเวชกรรม ซึ่งความหมายของ Telemedicine จะมีความหมายใกล้เคียงกับ Telehealth โดยมีความต่าง คือ Telemedicine เป็นการให้บริการทางการแพทย์ทางไกลโดยแพทย์เท่านั้น ส่วน Telehealth เป็นการให้บริการด้านดูแลสุขภาพในระยะทางไกลและให้คำปรึกษาจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านสุขภาพ (สกลนันท์ หุ่นเจริญและคณะ, 2557) จากการศึกษาด้านระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) (ชญานิศว์ กุลรัตนมณีพร, 2551) พบว่า การให้การรักษาแบบบริการโทรเวชกรรมในผู้ป่วยกลุ่มโรคเรื้อรัง มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการให้บริการที่โรงพยาบาล เนื่องจากระยะเวลาในการรอรับการรักษาน้อยกว่าและค่าใช้จ่ายในการเดินทางไปรับบริการโทรเวชกรรมที่สถานีอนามัยมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการไปโรงพยาบาลอย่างมีนัยสำคัญ และในงานวิจัยของ (ดาราวรรณ รองเมือง และคณะ, 2563) พบว่า ต้นทุนทางการแพทย์และการพยาบาลในการดูแลรักษาผู้ป่วยล้างไตทางช่องท้องโดยใช้ระบบแพทย์ทางไกลและระยะเวลาให้บริการของบุคลากรทางการแพทย์จะสูงกว่าการดูแลตามปกติ แต่ค่าใช้จ่ายในการเดินทางมารับบริการ ระยะเวลาเดินทางและ

ระยะเวลามารอรับบริการของผู้ป่วยและผู้ดูแลลดลง ทีมสหวิชาชีพ ผู้ป่วยและญาติมีความพึงพอใจต่อการใช้ระบบแพทย์ทางไกลระดับมาก

การแยกกักตัวอยู่บ้าน หรือ Home Isolation คือการให้ผู้ป่วยที่ติดโควิดแบบไม่แสดงอาการสามารถกลับไปพักรักษาตัวอยู่ที่บ้านได้ แต่ต้องคอยสังเกตอาการของตัวเองอยู่ตลอด หากมีอาการผิดปกติ เช่น หายใจลำบาก หอบเหนื่อย ให้รีบไปพบแพทย์เพื่อตรวจดูอาการทันที รวมถึงผู้ป่วยจะต้องปฏิบัติตามหลักการกักตัวอย่างถูกต้องด้วย เพื่อให้เป็นไปตามมาตรการควบคุมโรค และเพื่อไม่ให้เกิดการแพร่เชื้อไปสู่คนอื่นได้ (กรมการแพทย์, 2565) ทั้งนี้ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ได้จัดตั้งขึ้นเพื่อดูแลผู้ป่วย COVID-19 โดยมีกิจกรรมที่ศูนย์ต้องเกี่ยวข้องดังนี้ 1) จัดทำช่องทางเพื่อให้ผู้ป่วยเข้าถึงบริการให้ได้อย่างครอบคลุม 2) จัดกระบวนการเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับบริการเป็นผู้ป่วยในโดยสามารถออกเลขโรงพยาบาล (HN) และเลขผู้ป่วยใน (AN) ได้อย่างรวดเร็ว 3) คัดกรองและคัดแยกผู้ป่วยเพื่อการรักษาอย่างถูกต้องโดยสามารถแยกระดับความรุนแรงของอาการเป็นสีแดง สีเหลืองและสีเขียวตามเงื่อนไขของกระทรวง ผู้ป่วยที่สามารถอยู่ Home isolation ข้อห้ามในการทานยา Favipiravir โรคประจำตัวหรือการแพ้ยา จนกระทั่งการตรวจสอบที่อยู่เพื่อการจัดส่งอุปกรณ์ ยาและเวชภัณฑ์ให้ผู้ป่วยได้ 4) ดำเนินการเยี่ยมประจำวันของทีมแพทย์ พยาบาล เภสัช นักจิตบำบัด สังคมสงเคราะห์ 5) เสริมพลังและการวางแผนกลับบ้าน 6) ติดตามผู้ป่วยหลังจบโปรแกรมการรักษา 1-2 สัปดาห์ (จตุพงษ์ จันทร์ทอง, 2564) ทั้งนี้ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ได้มีระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้านเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการดำเนินงานของศูนย์ ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ จะพิจารณาจากถูกต้องในการทำงานของระบบในภาพรวม ความรวดเร็ว การใช้งานง่าย ด้านสมรรถนะในการทำงานของระบบ (ราเมศ ชาญณรงค์ และคณะ, 2562) นอกจากนั้นยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านความพร้อมทางเทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งศึกษาถึงปัจจัยความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 4 ด้าน ได้แก่ด้านซอฟต์แวร์ ด้านบุคลากร ด้านกระบวนการ และด้านการใช้ประโยชน์จากข้อมูล (สามารถ พันธ์เพชร, 2563) งานวิจัยของ (ณัฐพล แก่นศิริและ สุทธิศักดิ์ จันทวงษ์โส, 2561) พบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อความพร้อมและการยอมรับเทคโนโลยีฯ มี 3 ด้าน คือ ด้านความพร้อมด้านเทคโนโลยี ด้านความรู้ความเข้าใจ และด้านการยอมรับเทคโนโลยี สำหรับงานวิจัยที่มีการนำระบบสารสนเทศมาใช้ในโรงพยาบาล พบว่า การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการพยาบาลช่วยเพิ่มความปลอดภัยของผู้ป่วย ช่วยเพิ่มคุณภาพการพยาบาล และเพิ่มความพึงพอใจของผู้ป่วย (บุษยารัตน์ ศิลปวิทยาทร และบุญพิชชา จิตต์ภักดี, 2562)

จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่า 1) ประสิทธิภาพของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) สามารถพิจารณาได้จากปัจจัยด้านการประหยัดเวลา การลดภาระค่าใช้จ่าย รวมถึงความพึงพอใจของผู้ป่วยที่รับบริการ ส่วนในด้านของปัญหาการใช้บริการส่วนใหญ่ พบว่าเป็นปัญหาด้านเทคนิคและการให้บริการของเจ้าหน้าที่ ซึ่งแก้ไขได้โดยการเพิ่มศักยภาพในการติดต่อสื่อสาร 2) ประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ สามารถพิจารณาได้จากประเด็นดังต่อไปนี้ ด้านการทำงานของระบบ ด้านประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ระบบ ด้านความพึงพอใจในการใช้ระบบ 3) องค์ประกอบของความพร้อมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศขององค์กร ส่วนใหญ่ประกอบด้วย ด้านฮาร์ดแวร์ (hardware) ด้านซอฟต์แวร์ (software) บุคลากร (people) กระบวนการ (Process) งบประมาณ (Budget) ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงศึกษาความพร้อมของระบบบริการทาง

การแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้านโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของระบบ และ ความพร้อมใช้ของระบบโดยมีกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในแผนภาพที่ 1



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 วิธีการวิจัย

ผู้วิจัยใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจ (Survey research) และเป็นการศึกษาวิจัยย้อนหลัง (Retrospective research)

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

<u>กลุ่มที่ 1</u> ประชากรในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ คือผู้รับบริการ หรือผู้ป่วยโควิด-19 ที่เคยเข้ารับการรักษากับศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ จำนวน 2,416 คน (ข้อมูล ณ 10 ตุลาคม 2564) กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สูตรคำนวณ ทาโร่ ยามาเน่ (Taro Yamane, 1967) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จำนวน 344 คน

<u>กลุ่มที่ 2</u> ประชากรในการศึกษาความพร้อมใช้ระบบ คือผู้ให้บริการ ได้แก่ แพทย์ พยาบาล ผู้ที่เคยปฏิบัติงาน ณ ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ โดยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) จำนวน 30 คน

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามออนไลน์ (Google Forms) จำนวน 2 ชุด โดยการแจกแบบสอบถามคำนึงข้อพิจารณาด้านจริยธรรมและความยินยอมสมัครใจในการเข้าร่วมตอบแบบสอบถามก่อนทุกครั้ง (ผ่าน

การรับรองการพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัยในคน คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ อนุมัติ ณ วันที่ 8 กุมภาพันธ์ 2565 หมดอายุวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2566)

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม เป็นคำถามเกี่ยวกับสถานภาพทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา รายได้ สถานภาพ ใช้การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าร้อยละ (Percentage) สำหรับการวิเคราะห์ความคิดเห็นเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยการหาค่าเฉลี่ย (Mean) หรือ ($\overline{X}$) ซึ่งเป็นผลรวมการตอบแบบสอบถาม และนำมาหาส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) การแปลผลค่าคะแนนเป็นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์ค่าเฉลี่ยในการการแปลผลคะแนน

คะแนนเฉลี่ย	แปลผล
1.00 – 1.80	มีระดับความคิดเห็นในระดับน้อยที่สุด
1.81 – 2.00	มีระดับความคิดเห็นในระดับน้อย
2.01 – 3.40	มีระดับความคิดเห็นในระดับปานกลาง
3.41 – 4.20	มีระดับความคิดเห็นในระดับมาก
4.21 – 5.00	มีระดับความคิดเห็นในระดับมากที่สุด

ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความพร้อมใช้ของระบบ ได้มีการทดสอบสมมติฐานการวิจัยเพื่อหาปัจจัยจากข้อมูลส่วนบุคคลที่มีผลต่อความพร้อมใช้ระบบ โดยใช้ค่า t-test (สำหรับตัวแปร 2 กลุ่ม) และ F-test (สำหรับตัวแปรที่มีมากกว่า 2 กลุ่ม) นอกจากนั้นในส่วนของข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ซึ่งเป็นลักษณะคำถามปลายเปิด ผู้ตอบแบบสอบถามจะได้แสดงความคิดเห็นเพิ่มเติม และนำไปสรุปผลแบบบรรยายเชิงพรรณนา

5. ผลการวิจัย

ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถามด้านประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 1 เป็นผู้รับบริการ ซึ่งก็คือผู้ป่วยโควิด-19 ของศูนย์ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิงคิดเป็นร้อยละ 78.8 มีอายุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 21-30 ปี คิดเป็นร้อยละ 23.5 ส่วนระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญาตรี คิดเป็นร้อยละ 51.7 ส่วนใหญ่มีรายได้เฉลี่ยอยู่ที่ 20,00-30,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 30.8 ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรส คิดเป็นร้อยละ 66.0 ผลการวิเคราะห์ด้านประสิทธิภาพระบบ เป็นดังตารางที่ 2 นั่นคือภาพรวมประสิทธิภาพระบบตามความคิดเห็นของผู้ป่วย พบว่าประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.65) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ ผู้ป่วยมีความพึงพอใจต่อระบบมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.73) รองลงมาเป็นด้านประโยชน์ ($\overline{X}$ = 4.63) และด้านการใช้งาน ($\overline{X}$ = 4.60)

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพ	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
ด้านประโยชน์	4.63	0.034	มากที่สุด
ด้านการใช้งาน	4.60	0.078	มากที่สุด
ด้านความพึงพอใจต่อระบบ	4.73	0.106	มากที่สุด
รวม	4.65	0.036	มากที่สุด

ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้ตอบแบบสอบถามด้านความพร้อมใช้ระบบ ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2 พบว่า ผู้ปฏิบัติงานในศูนย์ ส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 86.7 มีอายุเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 31 – 40 ปี คิดเป็นร้อยละ 36.7 มีระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญาตรี คิดเป็นร้อยละ 50.0 ส่วนตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่เป็นพยาบาล คิดเป็นร้อยละ 20.0 และมีประสบการณ์ทำงานเกี่ยวกับ Telemedicine/Telehealth ตั้งแต่ 6 เดือนขึ้น คิดเป็นร้อยละ 46.7 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านความพร้อมใช้ระบบ พบว่าภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.18) และเมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่าด้านศักยภาพและประสิทธิผล (Telemedicine) มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.24) รองลงมาเป็นด้านความพร้อมของระบบอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.17) และด้านความพร้อมองค์กรอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.13) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความพร้อมใช้ระบบ

ความพร้อม	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
ด้านความพร้อมองค์กร	4.13	0.142	มาก
ด้านความพร้อมของระบบ	4.17	0.079	มาก
ด้านศักยภาพและประสิทธิผล	4.24	0.114	มากที่สุด
รวม	4.18	0.031	มาก

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความพร้อมใช้ระบบ โดยการทดสอบสมมติฐานความแตกต่างทางด้านประชากรศาสตร์ (สำหรับผู้ปฏิบัติงาน) ที่ส่งผลต่อความพร้อมใช้ระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) ผลการวิเคราะห์เป็นดังตารางที่ 4 นั่นคือ ปัจจัยทางเพศ อายุ ระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน ประสบการณ์ปฏิบัติงาน Telemedicine ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความพร้อมของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความพร้อมใช้ระบบ

ปัจจัยส่วนบุคคล	ความพร้อมของระบบ	
	Sig.	ผลการทดสอบ
1. เพศที่แตกต่างกันมีผลต่อความพร้อมใช้ระบบฯ แตกต่างกัน	0.647	ไม่ยอมรับ
2. อายุที่แตกต่างกันมีผลต่อความพร้อมใช้ระบบฯ แตกต่างกัน	0.594	ไม่ยอมรับ
3. ระดับการศึกษาที่แตกต่างกันมีผลต่อความพร้อมใช้ระบบฯ แตกต่างกัน	0.689	ไม่ยอมรับ
4. ตำแหน่งงานที่แตกต่างกันมีผลต่อความพร้อมใช้ระบบฯ แตกต่างกัน	0.760	ไม่ยอมรับ
5. ประสบการณ์ทำงานที่แตกต่างกันมีผลต่อความพร้อมใช้ระบบฯ แตกต่างกัน	0.548	ไม่ยอมรับ

*Sig < 0.05

ผู้ตอบแบบสอบถามกลุ่มที่ 1 ผู้รับบริการหรือผู้ป่วยโควิด-19 ได้ให้เสนอแนะเพิ่มเติมทั้งสิ้น 292 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 84.88 โดยผู้วิจัยได้จัดกลุ่มออกเป็น 3 มุมมอง คือ ด้านการปรับปรุงพัฒนาระบบสารสนเทศ Telemedicine / Telehealth ร้อยละ 14.04 ด้านการปรับปรุงการบริการในระหว่างรับการรักษา (ไม่เกี่ยวกับการใช้งานระบบ) คิดเป็นร้อยละ 31.50 และด้านคำชมเชยและให้กำลังใจบุคลากรผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีจำนวนมากที่สุดถึงร้อยละ 54.46 โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวกับข้อเสนอแนะจากแบบสอบถาม

มุมมองด้าน	จำนวน	ข้อเสนอแนะ
ด้านการปรับปรุงพัฒนาระบบสารสนเทศ Telemedicine / Telehealth	ร้อยละ 14.04	เกี่ยวกับเมนูใบรับรองแพทย์ /อัตรากำลังของเจ้าหน้าที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ได้รับบริการล่าช้า / การนัดและแจ้งผลเอ็กซเรย์ในระบบ
ด้านการปรับปรุงการบริการในระหว่างรับการรักษา (ไม่เกี่ยวกับการใช้งานระบบ)	ร้อยละ 31.50	การพูดจาของเจ้าหน้าที่ /การจัดบริการอาหาร /การให้ข้อมูล ประชาสัมพันธ์ /สถานที่เอกซเรย์ไม่มิดชิด /การติดตามอาการหลังหายป่วย
คำชมเชย/ให้กำลังใจ	ร้อยละ 54.46	การให้กำลังใจ

6. อภิปรายผล

1) ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) กรณีศึกษา: ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center (HICC) โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ในด้านประสิทธิภาพของระบบ ผลการศึกษา พบว่า ผู้รับบริการ ซึ่งก็คือผู้ป่วยโควิด-19 ได้ให้คะแนนประสิทธิภาพของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อพบว่าความพึงพอใจต่อระบบมากที่สุด รองลงมาเป็นด้านประโยชน์และด้านการใช้งาน เนื่องจากระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) ช่วยให้เกิดความประหยัดค่าใช้จ่ายในการรับบริการตรวจรักษา ช่วยลดระยะเวลารอคอย สามารถช่วยติดตามอาการได้จริง อีกทั้งช่วยลดการแพร่กระจายเชื้อไวรัส COVID-19 สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ดาราวรรณ รองเมือง และคณะ, 2563) ซึ่งได้ศึกษาการพัฒนาระบบแพทย์ทางไกลเพื่อการดูแลรักษาผู้ป่วยล้างไตทางช่องท้อง บทเรียนจากระบาดของโควิด-19 พบว่าด้านความพึงใจต่อการใช้ระบบแพทย์ทางไกลอยู่ในระดับมาก ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางมารับบริการ ลดระยะเวลาเดินทางและระยะเวลามารอรับบริการ อีกทั้งผลการศึกษาด้านประโยชน์และการใช้งานระบบ สอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษายุคใหม่ของการดูแลสุขภาพด้วยระบบนิเวศทางธุรกิจและเทเลเฮลธ์ (ศิริรัตน์ วงศ์ประกรณ์กุล, 2563) โดยพบว่าประโยชน์ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล เช่น ปรึกษาแพทย์ได้จากทุกที่ ลดภาระค่าใช้จ่ายและลดเวลาในการรอรับบริการ ส่วนด้านความพร้อมของระบบ ผลการศึกษา พบว่า ผู้ให้บริการ ซึ่งก็คือเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานภายในศูนย์ ให้ความเห็นว่าความพร้อมของระบบโดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ด้านศักยภาพและประสิทธิผลในการประยุกต์ใช้ระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) อยู่ในระดับมากที่สุด โดยตัวระบบสามารถทำให้เจ้าหน้าที่ทำงานได้เร็วขึ้น ทำให้สามารถรับผู้ป่วยเข้าสู่ระบบการรักษาได้เร็ว มีข้อมูลสารสนเทศสำหรับทีมแพทย์พยาบาลที่สามารถจัดการดูแลคนไข้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งระบบมีความสำคัญในการบริหารจัดการในสถานการณ์ COVID-19 รองลงมาเป็นด้านความพร้อมใช้ของระบบอยู่ในระดับมาก เพราะสามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้โดยง่าย และด้าน

ความพร้อมองค์กรอยู่ในระดับมาก จากการสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ ความพร้อมบุคลากร รวมถึงงบประมาณ

2) ปัจจัยที่มีผลต่อความพร้อมใช้ของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียวที่แยกกักตัวที่บ้าน (Home Isolation) พบว่าเพศ อายุ ระดับการศึกษา ตำแหน่งงาน ประสบการณ์ปฏิบัติงาน Telemedicine ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อความพร้อมของระบบบริการทางการแพทย์ทางไกล Telemedicine สำหรับดูแลผู้ป่วย COVID-19 กลุ่มสีเขียว เนื่องด้วยผู้ให้บริการเป็นบุคลากรของโรงพยาบาลที่มีวิชาชีพและประสบการณ์เกี่ยวข้องกับการให้บริการทางการแพทย์และการแพทย์ทางไกล รวมถึงการสนับสนุนของงานสารสนเทศของโรงพยาบาลและทีมพัฒนาระบบจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่ร่วมกันพัฒนาระบบมาตั้งแต่เริ่มต้น ส่งผลให้บุคลากรมีความเข้าใจในการปฏิบัติงานและสามารถปฏิบัติงานได้อย่างราบรื่น

3) ข้อเสนอแนะที่ได้จากผู้ตอบแบบสอบถามมีจำนวนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมทั้งหมด 292 ข้อ คิดเป็นร้อยละ 84.88 ด้านการปรับปรุงพัฒนาที่เกี่ยวกับการใช้ระบบ Telemedicine/Telehealth ร้อยละ 14.04 ของข้อเสนอแนะส่วนนี้ ประกอบด้วยข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการเพิ่มเมนูใบรับรองแพทย์ เพื่อสะดวกในการจัดทำเอกสารเอง ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับอัตรากำลังของเจ้าหน้าที่ไม่เพียงพอ ส่งผลให้ได้รับบริการล่าช้า และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำนัดและแจ้งผลเอ็กซเรย์ในระบบ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการรับบริการครั้งถัดไป ด้านการปรับปรุงการบริการในระหว่างรับการรักษา (ไม่เกี่ยวกับการใช้งานระบบ) ร้อยละ 31.50 ของข้อเสนอแนะส่วนนี้ ประกอบด้วยการพูดจาของเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการ ไม่เหมาะสม การบริการอาหารไม่ประทับใจ การให้ข้อมูลประชาสัมพันธ์ยังไม่ดีพอ สถานที่เอ็กซเรย์ไม่มิดชิด และการติดตามอาการหลังหายป่วย ด้านคำชมเชย/ให้กำลังใจ ร้อยละ 54.45 ของข้อเสนอแนะส่วนนี้ สะท้อนความพึงพอใจของผู้รับบริการ เป็นผลสืบเนื่องที่แสดงให้เห็นว่าระบบบริการการแพทย์ทางไกล(Telemedicine/Telehealth) มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับสถานการณ์การรักษาผู้ป่วย COVID-19 ในขณะนั้นรวมถึงปัจจุบัน อีกทั้งการเข้าถึงระบบการรักษาแบบการแพทย์ทางไกล ทำให้ผู้ป่วยได้รับบริการที่ดี ดังผลวิจัยด้านความพึงพอใจต่อระบบมากที่สุด ($\overline{X}$ = 4.73)

7. ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเกี่ยวกับวิธีการพัฒนาระบบบริการการแพทย์ทางไกล (Telemedicine) ให้สามารถเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศหลักโรงพยาบาล HIS (Hospital Information Systems) เพื่อการบริหารจัดการข้อมูลผู้ป่วยในโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายฝ่าย และขอขอบคุณโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ที่ให้ความกรุณาอนุญาตให้เข้าเก็บข้อมูลแบบสอบถาม ณ ศูนย์ประสานการดูแลผู้ป่วย COVID-19 Home Isolation Coordination Center ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และหากพบข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้

9. เอกสารอ้างอิง

กรมการแพทย์. การจัดบริการ HOME ISOLATION กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข[อินเทอร์เน็ต];2565 [เข้าถึงเมื่อ 1 มกราคม 2565]. เข้าถึงได้จาก: https://covid19.dms.go.th/backend/Content/Content_File/Covid_Health/Attach/25650105180407PM_80%E0%B8%9B%E0%B8%B5HomeIso.pdf

จตุพงษ์ จันทร์ทอง. (2564). *Home Isolation จากทางออกของวิกฤติ สู่การแพทย์แห่งอนาคต*. มหกรรมคุณภาพโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ประจำปี 2564. วันที่ 25 พฤศจิกายน 2564,2-3.

ชญานิศว์ กุลรัตนมณีพร. (2551). *ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการบริการโทรเวชกรรม กรณีศึกษาอำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่*. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐพล แก่นศิริ และสุทธิศักดิ์ จันทวงษ์โส. (2561). การศึกษาความพร้อมในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเสมือน สำหรับระบบตรวจวัดข้อมูลระยะไกลด้านอุทกวิทยา. *การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 13 ปีการศึกษา 2561*, 2827-2838.

ดาราวรรณ รองเมือง และคณะ. (2563). *การพัฒนาระบบแพทย์ทางไกลเพื่อการดูแลรักษาผู้ป่วยล้างไตทางช่องท้อง บทเรียนจากระบาดของโควิด-19.* นนทบุรี : สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข

บุษยารัตน์ ศิลปวิทยาทร และ บุญพิชชา จิตต์ภักดี. (2562). การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศด้านสุขภาพในการพยาบาลเพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วย. *วารสารการพยาบาลและการดูแลสุขภาพ. คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 38*(2), 6-13.

ราเมศ ชาญณรงค์ และคณะ. (2562). ประสิทธิภาพการใช้งานระบบสารสนเทศภาวการณ์มีงานทำของบัณฑิตคณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. *วารสารบัณฑิตศึกษาปริทรรศน์ วิทยาลัยสงฆ์นครสวรรค์, 7*(2), 141-146.

รุจพ์สวัตต์ ครองภูมินทร์. (2564). การแพทย์ทางไกลแอปพลิเคชันพบหมอกับความปกติใหม่หลังโควิด 19 ด้วยมุมมองทางทฤษฎีสื่อสารมวลชน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต,* (1):20-21.

ศิริรัตน์ วงศ์ประกรณ์กุล. (2563). ยุคใหม่ของการดูแลสุขภาพด้วยระบบนิเวศทางธุรกิจและเทเลเฮลธ์. *วารสาร Mahidol R2R e-Journal. มหาวิทยาลัยมหิดล, 7*(2), 13-14.

สกลนันท์ หุ่นเจริญ และคณะ. (2557). การประยุกต์ใช้ระบบการแพทย์ทางไกลเพื่อสนับสนุนการดูแลสุขภาพ. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ,* 5(2): 191.

สามารถ พันธ์เพชร. (2563). *การวิเคราะห์ปัจจัยความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีผลต่อความสำเร็จของการดำเนินงานพัฒนาคุณภาพข้อมูลด้านการป้องกันและรักษาผู้ติดเชื้อเอชไอวี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2563.* นนทบุรี : กองโรคเอดส์และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข.

สุรพล นิติไกรพจน์. (2564). *101 วัน รพ.ธรรมศาสตร์ วิกฤตหนัก เราอาจแพ้ศึกและล้มลง*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 21 กรกฎาคม 2564. จาก:https://www.prachachat.net/social-media-viral/news-719797.

PakornR. (2563). *รวม 5 ผลกระทบโควิด-19 ในปี 2020.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 22 ธันวาคม 2563, จาก: https://news.trueid.net/detail/VGJ91QAkKvqN.

การพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที

THE DEVELOPMENT OF PHYSICAL THERAPY EVALUATION SYSTEM FOR PATIENTS WITH HAND MUSCLE WEAKNESS USING THE BALL TO MANAGE HANDS THROUGH IoT DEVICES

ทินภัทร บริรักษ์
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: thinnaphat.bo@spu.ac.th
ณัฏฐ์นวัต อรุณรัตน์
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: nutnawat.a@gmail.com
มาสวีร์ มาศดิศรโชติ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: masawee.ma@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้นักกายภาพบำบัดประเมินผลการรักษาจากการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วย และช่วยให้ง่ายต่อการตรวจสอบผลการบันทึกที่ได้จากอุปกรณ์ในแต่ละครั้งของการทำกายภาพได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพในรูปของแดชบอร์ด เครื่องมือการวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานจากกลุ่มตัวอย่าง คือ นักกายภาพบำบัด ผู้ป่วยที่มีอาการกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง รวมถึงอาจารย์นักศึกษาในคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ส่วนสถิติที่ใช้ในการวิจัยนั้นจะใช้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที สามารถช่วยให้ผู้ป่วยมีความสนใจในการทำกายภาพบำบัดมากขึ้นจากลักษณะท่าทางการทำกายภาพต่างๆ และลดภาระการบันทึกผลการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยหรือผู้ช่วยผู้ป่วยได้เป็นอย่างดี โดยผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที แสดงให้เห็นว่ากลุ่มเป้าหมายมีความพึงใจต่อระบบโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.60)

คำสำคัญ: การฟื้นฟูสมรรถภาพผู้ป่วยอาการอ่อนแรง, กล้ามเนื้อมืออ่อนแรง, ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ABSTRACT

This research presents the development of a physical therapy evaluation system for patients with hand muscle weakness using hand stress balls through IoT devices. They can be used as a tool for helping physical therapists in physical therapy evaluation and can be monitored the physical therapy recording quickly and efficiently via dashboard. Research tool is user satisfaction questionnaire. The target groups of this research are physical therapists and hand muscle weakness patients including teachers and students in the Faculty of Information Technology. The statistics used in the research are mean and standard deviation. As a result of this research, the physical therapy evaluation system for patients with hand muscle weakness using hand stress balls through IoT devices can help patients to be more interested in physical therapy from various physical gestures. They also, reduce the physical therapy recording. In terms of the satisfaction result, the target group were satisfied by the application as a whole was the highest level at ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.60).

Keywords: Rehabilitation of Patients, Hand Muscle Weakness, User Satisfaction

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การรักษาผู้ป่วยแต่ละคนที่มีอาการอ่อนแรงในปัจจุบันค่อนข้างใช้ระยะเวลานาน ยังจะต้องรับประทานยา และทำกายภาพบำบัด เพื่อช่วยให้กล้ามเนื้อแข็งแรง เสียค่าใช้จ่ายในการรักษาเป็นจำนวนมาก และจำเป็นจะต้องมีผู้ช่วยที่คอยจดบันทึกอาการของผู้ป่วย และผลการทำกายภาพบำบัดในลักษณะของท่าทางต่างๆ หรืออาจจะต้องพาผู้ป่วยเดินทางไปทำกายภาพบำบัดตามสถานพยาบาลเป็นประจำ การบันทึกผลการทำกายภาพบำบัดนั้น อาจจะไม่ครบถ้วน และไม่มีความต่อเนื่องเป็นประจำ เนื่องจากการจดบันทึกของผู้ป่วยเองนั้นกระทำได้ยาก หรือการเดินทางไปตามสถานพยาบาลที่ตนรักษานั้นลำบาก ทำให้ผู้ป่วยไม่กระตือรือร้นในการรักษาอาการป่วยของตน อีกทั้งพยาบาลอาจจะนำผลที่ได้จากการจดบันทึกของผู้ป่วยมาทำการวิเคราะห์ถึงลักษณะอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงว่าจะต้องรักษาอาการหรือกำนดท่าทางการทำกายภาพนั้นต่อไปอย่างไร ทำให้กิจวัตรประจำวันของผู้ป่วยไม่สะดวก อาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย หรือเกิดปัญหาทางจิตได้ ซึ่งจะทำให้เกิดความทุกข์ทั้งทางร่างกาย จิตใจ และบุคคลรอบข้าง จนเป็นปัญหาของสังคม ทั้งนี้ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้มีการเจริญก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว และการเข้ามามีบทบาทมากขึ้นของอุปกรณ์ไอโอที โดยเฉพาะอย่างยิ่งการติดต่อสื่อสารผ่านการใช้งานแอพพลิเคชันบนอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่นำข้อมูลต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ เพื่อหาวิธีการใหม่ๆ ซึ่งนับได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ เป็นที่นิยมและเป็นที่ยอมรับอย่างมาก

ดังนั้นการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงจึงเป็นวิธีการที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการบันทึกผลการออกกำลังกายภายใต้การดูแลและขั้นตอนการบำบัดด้วยตนเองที่บ้านได้ ผ่านอุปกรณ์ไอโอที ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปของแดชบอร์ด โดยผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ด้านการพัฒนาโปรแกรมส่งเสริมการเคลื่อนไหวแบบมุ่งเป้าหมายต่อผลลัพธ์ด้านกล้ามเนื้อกระดูกและข้อต่อในผู้ป่วยบาดเจ็บที่มีข้อจำกัดทางการเคลื่อนไหว (ศศิธร มุกประดับ, 2557) ที่ได้ดำเนินการวิจัยโดยนำผลของการพัฒนาไปทดลองใช้กับผู้ป่วยบาดเจ็บที่มีข้อจำกัดทางการเคลื่อนไหวจากการทดลองออกกำลังกายวันละ 2 รอบ (เช้า-เย็น) ท่าละ 10 ครั้ง ในวันแรกและค่อยปรับเพิ่มจำนวนครั้งในแต่ละท่าตามความสามารถ

ของผู้ป่วย เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 15 วัน ซึ่งผลลัพธ์ด้านกระบวนการสามารถดำเนินการได้จริง มีความเหมาะสม แต่อาจจะต้องมีการปรับเนื้อหาของโปรแกรมให้มีความกระชับและเข้าใจง่าย ส่วนผลลัพธ์ด้านผู้ป่วยนั้นมีความสามารถในการทำกิจกรรมเพิ่มขึ้น โดยมีการจำกัดจำนวนครั้งในการออกกำลังกาย และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่ลดลง อีกทั้งมีผลการประเมินความพึงพอใจต่อการเข้าร่วมโปรแกรมคิดเป็นร้อยละ 93.13 ส่วนโปรแกรมการฝึกกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจแบบผสมผสานช่วยเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจและความเหนื่อยล้าในโรคเส้นโลหิตตีบ (Ray AD, Udhoji S, Mashtare TL, Fisher NM., 2013) ที่ได้ดำเนินการวิจัยจากการวัดผลลัพธ์ด้านความดันที่เกิดจากการหายใจเข้า-ออก ผลกระทบที่เกิดจากความเหนื่อยล้าของกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจ ที่เกิดจากการทดสอบนั้น ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ความดันหายใจเข้าสูงสุดและความดันหายใจออก (Mean ± SD) เพิ่มขึ้น 35% ± 22% (P<.001) และ 26% ± 17% (P<.001) ตามลำดับ ในขณะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในกลุ่มควบคุม (12% ± 23% และ -4% ± 17% ตามลำดับ) RMT เพิ่มความล้า (Modified Fatigue Impact Scale, P<.029) โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือแย่ลงในกลุ่มควบคุม ที่เข้าทดสอบการฝึกกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจ ส่งผลให้กลุ่มควบคุมมีความสุกทางอารมณ์และสุขภาพโดยทั่วไปลดลง ดังนั้นโปรแกรมการฝึกกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจแบบผสมผสานจึงช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของกล้ามเนื้อระบบทางเดินหายใจ และลดความเมื่อยล้าในผู้ป่วยที่มีอาการโรคหลอดเลือดหัวใจตีบเล็กน้อยถึงปานกลาง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเครื่องมือช่วยฟื้นฟูเด็กสมองพิการแขนขาอ่อนแรงและมีความบกพร่องทางการเคลื่อนไหว (นคร วรารัตน์, วุฒิการ เขมะวิชานุรัตน์ และสุกฤชชา มณีวรรณ., 2562) ที่ได้ตระหนักถึงการสร้างเครื่องมือสำหรับช่วยเหลือผู้ที่มีความบกพร่องของการเคลื่อนไหว โดยนวัตกรรมเป็นหุ่นยนต์ประเภท Treadmill-Based Robotic ที่เป็นการฝึกเดินบนลู่ ร่วมกับการมีระบบช่วยพยุงตัวขณะฝึกเดิน แต่งานวิจัยดังกล่าวได้มุ่งนี้อุปกรณ์ที่ติดตั้งตามสถานกายภาพบำบัดจึงเป็นปัญหาต่อการทำกายภาพของผู้ป่วย เนื่องจากมีงบประมาณค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดในเรื่องการเข้าถึงอุปกรณ์ของผู้ป่วยตามสถานพยาบาล เป็นต้น

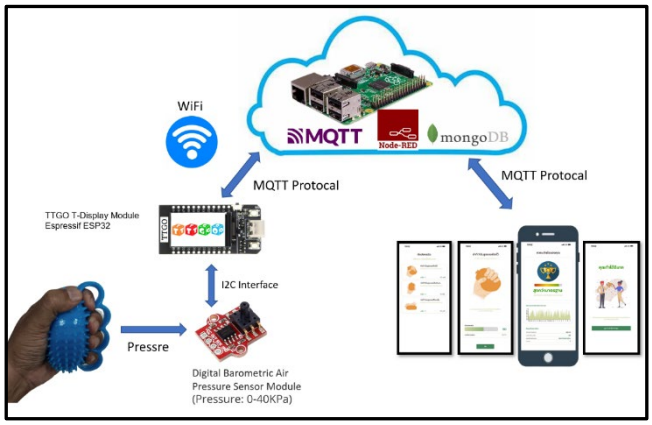
จากข้อมูลข้างต้นผู้พัฒนาจึงให้ความสำคัญของการทำกายภาพบำบัดเพื่อฟื้นฟูสมรรถภาพร่างกายให้กับผู้ป่วย โดยออกแบบโปรแกรมเพื่อระบุท่าทางการทำกายภาพบำบัดผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนของผู้ป่วยในแต่ละรายตามที่ลงทะเบียนไว้ในระบบ และออกแบบอุปกรณ์ที่ให้ผู้ป่วยบีบเพื่อออกกำลังกายให้เกิดแรงกดดัน ผ่านเซ็นเซอร์ ที่เชื่อมต่อไปยังบอร์ดของ Raspberry Pi เพื่อจัดเก็บข้อมูลของผู้ป่วยในแต่ละราย และจัดทำแดชบอร์ดสรุปผลการทำการภาพบำบัดที่เกิดประโยชน์กับตัวผู้ป่วย และนักกายภาพบำบัดที่นำข้อมูลไปวิเคราะห์อาการของผู้ป่วยได้มากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอทีและแสดงผลในรูปแบบแดชบอร์ดผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน

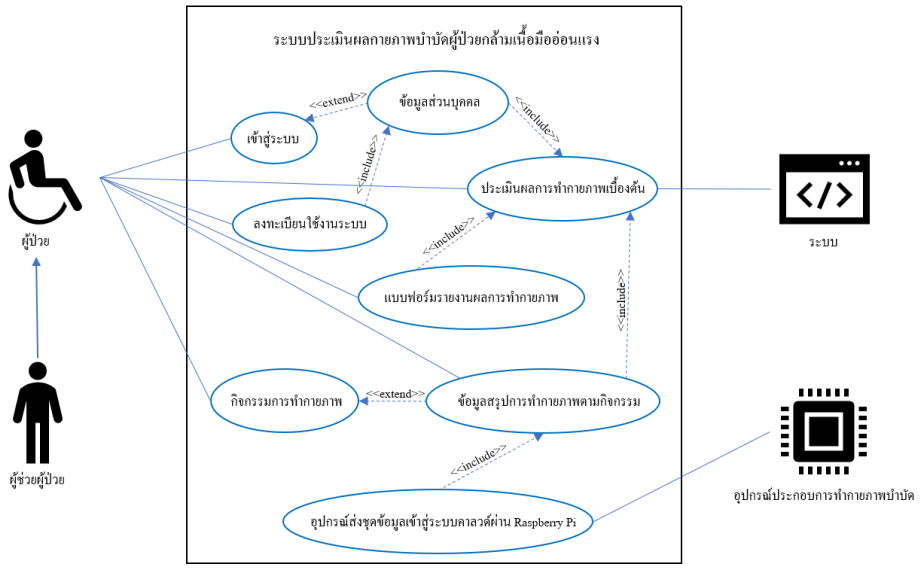
(2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงที่มีผลต่อการใช้งานระบบบันทึกผลและประเมินผลการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยในเบื้องต้น

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



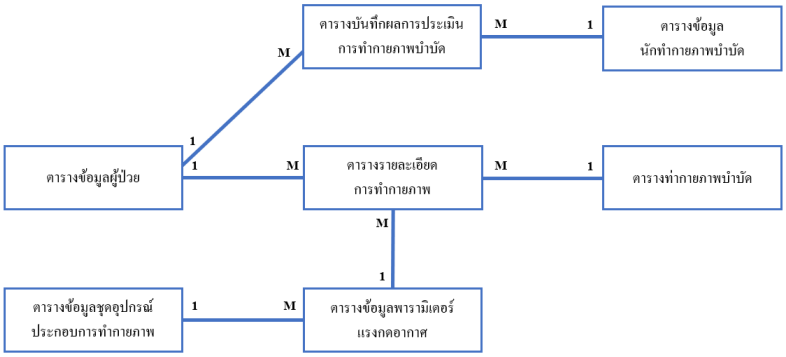
แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัยตามสถาปัตยกรรมระบบ

ตามกรอบแนวคิดในการวิจัยนั้น ผู้วิจัยได้แยกการพัฒนาระบบออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์กับส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ โดยงานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอในส่วนที่เป็นการพัฒนาด้านซอฟต์แวร์จากผู้ใช้งานระบบผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่คอยตรวจสอบการเข้าใช้งานระบบของผู้ใช้ และแสดงค่าที่ได้จากการจัดเก็บผลลัพธ์ของอุปกรณ์ไอโอที ที่ส่งข้อมูลขึ้นสู่ระบบคลาวด์ มาทำการวิเคราะห์และประเมินผลจากการทำกายภาพบำบัดตามกิจกรรมต่างๆ นั้น มาประเมินผลการทำกายภาพ เพื่อฟื้นฟูสมรรถนะของผู้ป่วยในเบื้องต้นในรูปแบบของแดชบอร์ดผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนของผู้ใช้งานระบบ โดยได้ออกแบบแผนภาพการใช้งานระบบ ถึงความสัมพันธ์การใช้งานระบบในแต่ละส่วนตามแผนภาพที่ 2 ประกอบด้วยส่วนการทำงานของผู้ป่วย ส่วนการทำงานของระบบ และอุปกรณ์ประกอบการทำกายภาพที่มีความสัมพันธ์กัน ตามกระบวนการใช้งานระบบ ตั้งแต่เข้าสู่ระบบที่ได้มาจากขั้นตอนของการลงทะเบียนการใช้งานระบบ แล้วการที่ผู้ป่วยจะดูผลการประเมินได้นั้นก็มาจากกระบวนการเลือกกิจกรรมตามลักษณะท่าทางการทำกายภาพบำบัดต่างๆ ผ่านสมาร์ทโฟนของผู้ใช้ โดยอาศัยข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์ประกอบการทำกายภาพบำบัดเข้าสู่ระบบ เพื่อนำผลที่ได้มาเป็นข้อมูลสรุปการทำกายภาพตามกิจกรรมนั้น โดยในที่นี้อาจจะเป็นผู้ช่วยผู้ป่วยมาใช้งานระบบแทนผู้ป่วยก็ได้ตามแผนภาพดังนี้



แผนภาพที่ 2 แผนภาพการใช้งานระบบ

จากการออกแบบระบบตามแผนภาพการใช้งานนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตารางข้อมูลที่ใช้ในการจัดการข้อมูลหลักภายในระบบ ที่ประกอบด้วย ตารางข้อมูลผู้ป่วย ตารางข้อมูลนักกายภาพบำบัด ตารางข้อมูลชุดอุปกรณ์ประกอบการทำกายภาพ และตารางท่ากายภาพบำบัด จากนั้นได้หาความสัมพันธ์ของระบบที่มีความเกี่ยวเนื่องกันจนเกิดตารางบันทึกผลการประเมินการทำกายภาพบำบัด ที่เป็นส่วนของการติดตามผลที่ได้จากการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที ของนักกายภาพที่วิเคราะห์ผลมาจากข้อมูลในรูปแบบแดชบอร์ด ที่ได้จากตารางรายละเอียดการทำกายภาพ ซึ่งเสนอในรูปของแบบฟอร์มรายงานผลการทำกายภาพ โดยมีฟังก์ชันการออกรายงานที่สอดคล้องกับผู้ป่วยที่มีอาการกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงในแต่ละรายได้ เพื่อให้กับนักกายภาพบำบัดมาใช้ประกอบการตัดสินใจในการประเมินอาการ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้มาจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งผ่านลูกบอลที่ใช้บริหารมือของผู้ป่วย ดังแผนภาพที่ 3 ดังนี้

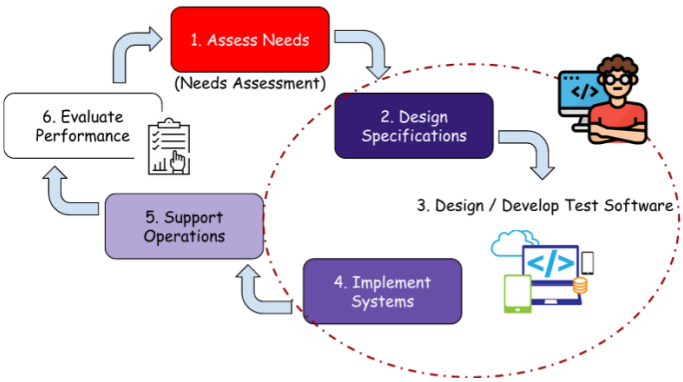


แผนภาพที่ 3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของตารางข้อมูล

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที ซึ่งจะมีขั้นตอนในการวิจัย 6 ขั้นตอน ตามแผนภาพที่ 4 ดังนี้



แผนภาพที่ 4 แบบแผนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ส่วนการศึกษาปัญหาและรูปแบบการรักษาทางกายภาพ ศึกษาความต้องการของระบบ ค้นคว้าทฤษฎี เทคโนโลยี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้ในระบบได้ โดยรวบรวมจาก

เอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ

ขั้นตอนที่ 2 ส่วนการวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรมสำหรับการเก็บข้อมูลการบันทึกผลที่ได้จากอุปกรณ์ไอโอที โดยออกแบบโปรแกรมเพื่อระบุท่าทางการทำกายภาพบำบัดผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนของผู้ป่วยในแต่ละรายตามที่ลงทะเบียนไว้ในระบบ และออกแบบอุปกรณ์ที่ให้ผู้ป่วยบีบลูกยางเพื่อออกกำลังกายให้เกิดแรงกดดัน แล้วเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์วัดความดันอากาศผ่านเซ็นเซอร์ ที่เชื่อมต่อไปยัง TTGO T-Display โมดูล เอสเพรสชิฟ ESP32 ผ่าน I2C อินเตอร์เฟส และส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล Message Queue Telemetry Transport: MQTT ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายผ่านโปรแกรม Node-RED ที่ติดตั้งให้กับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้บอร์ดของ Raspberry Pi โดยใช้ฐานข้อมูล Mongo DB เพื่อจัดเก็บข้อมูลของผู้ป่วยในแต่ละรายผ่านการใช้งานคลาวด์เซอร์วิส และจัดทำแดชบอร์ด สรุปผลการทำการภาพบำบัดที่เกิดประโยชน์กับตัวผู้ป่วย ผู้ดูแล และแพทย์ที่นำข้อมูลนี้ไปวิเคราะห์อาการของผู้ป่วย และผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ แผนภาพการใช้งาน และกระบวนการออกแบบฐานข้อมูล ให้สามารถใช้งานได้ง่ายโดยผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน

ขั้นตอนที่ 3 ส่วนการพัฒนาระบบสำหรับการดึงข้อมูลการทำกายภาพของผู้ป่วยผ่านโปรแกรม Node-RED โดยสร้างระบบฐานข้อมูลด้วย Mongo DB และพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาจาวา (Java)

ขั้นตอนที่ 4 ส่วนการทดสอบใช้ระบบและทดสอบระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟนในแต่ละฟังก์ชัน

ขั้นตอนที่ 5 ส่วนสนับสนุนการพัฒนาระบบ โดยการทดลองใช้งานของผู้ที่เกี่ยวข้องจากกลุ่มตัวอย่าง เพื่อหาข้อบกพร่องของโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 6 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอทีด้วยแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ นักกายภาพบำบัด ผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง อาจารย์และนักศึกษาของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขต กรุงเทพฯ

กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มบุคคลที่ใช้งานอุปกรณ์ผ่านระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที ทั้งหมด 80 คน ที่ประกอบด้วย นักกายภาพบำบัด จำนวน 10 คน ผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง จำนวน 20 คน อาจารย์และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 50 คน

4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น คือ ข้อมูลการบันทึกผลการบีบลูกยางที่ได้มาจากเซ็นเซอร์วัดค่าแรงกดดันในแต่ละครั้งของผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงที่ใช้งานอุปกรณ์ที่พัฒนา

ตัวแปรตาม คือ พฤติกรรมการกดลูกยางของผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงที่ใช้งานอุปกรณ์ที่พัฒนา

4.3 เครื่องมือวิจัย

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานโปรแกรมสำหรับระบบการประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที ด้วยแบบสอบถาม

ความพึงพอใจของผู้ใช้ โดยรวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ที่เป็นนักกายภาพบำบัด ผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง อาจารย์และนักศึกษา จำนวนรวม 80 คน

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลจากการใช้งานระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอทีกับผู้ป่วยจริง พร้อมกับการวิเคราะห์ผลการประเมินความพึงพอใจจากแบบสอบถาม โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยนำผลที่ได้เทียบกับเกณฑ์การประเมินดังนี้

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 – 5.00 หมายความว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.41 – 4.20 หมายความว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมาก

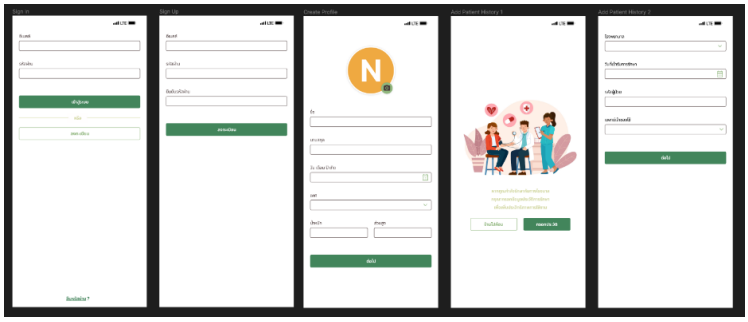
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.61 – 3.40 หมายความว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.81 – 2.60 หมายความว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับน้อย

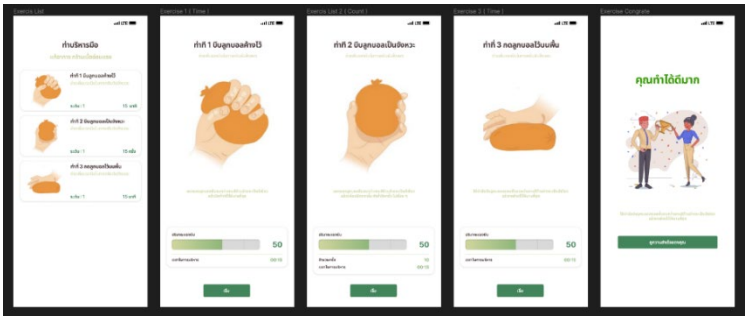
ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 – 1.80 หมายความว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที ตามขั้นตอนการวิจัย โดยนำข้อมูลจากการการศึกษาปัญหาและรูปแบบการรักษาทางกายภาพ การวิเคราะห์และออกแบบระบบมาทำการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง ตามแผนภาพที่ 5, 6 และ 7 ดังนี้



แผนภาพที่ 5 หน้าจอส่วนของประวัติผู้ใช้งานระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที



แผนภาพที่ 6 หน้าจอแสดงกิจกรรมกายภาพบำบัดระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที

แผนภาพที่ 7 หน้าจอแสดงผลการประเมินการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที

จากการพัฒนาระบบเสร็จสิ้นผู้วิจัยจึงได้ทำการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที โดยนำผลจากแบบสอบถามมาทำการวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล ตามตารางที่ 1, 2 และ 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลประเมินความพึงพอใจของนักกายภาพที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที จำนวน 10 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ประสิทธิภาพในการทำงาน			
1.1 สามารถจัดเก็บข้อมูลการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้สะดวกและรวดเร็ว	4.70	0.48	ระดับมากที่สุด
1.2 สามารถตรวจสอบข้อมูลทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้อย่างรวดเร็ว	4.60	0.52	ระดับมากที่สุด
1.3 สามารถติดตามการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้ตลอดเวลา	4.50	0.53	ระดับมากที่สุด
1.4 ใช้งานง่าย	4.50	0.71	ระดับมากที่สุด
1.5 ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้	4.60	0.70	ระดับมากที่สุด
รวม	**4.58**	**0.59**	**ระดับมากที่สุด**
2. การออกแบบหน้าจอ			
2.1 รูปแบบหน้าจอ ขนาดตัวอักษรและสีที่นำเสนอมีความเหมาะสม	4.50	0.71	ระดับมากที่สุด
2.2 มีการใช้ภาษาที่ง่ายต่อความเข้าใจ	4.50	0.71	ระดับมากที่สุด
2.3 มีความสวยงามและง่ายต่อการใช้งาน	4.70	0.48	ระดับมากที่สุด
รวม	**4.57**	**0.63**	**ระดับมากที่สุด**
โดยรวม	**4.58**	**0.60**	**ระดับมากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความพึงพอใจของนักกายภาพบำบัดที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.60) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พอสรุปได้ดังนี้ ด้านประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.59) และด้านการออกแบบหน้าจออยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.57, S.D. = 0.63)

ตารางที่ 2 ผลประเมินความพึงพอใจของผู้ป่วยที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที จำนวน 20 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ประสิทธิภาพในการทำงาน			
1.1 สามารถจัดเก็บข้อมูลการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้สะดวกและรวดเร็ว	4.70	0.47	ระดับมากที่สุด
1.2 สามารถตรวจสอบข้อมูลทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้อย่างรวดเร็ว	4.60	0.50	ระดับมากที่สุด
1.3 สามารถติดตามการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้ตลอดเวลา	4.50	0.51	ระดับมากที่สุด
1.4 ใช้งานง่าย	4.50	0.69	ระดับมากที่สุด
1.5 ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้	4.60	0.68	ระดับมากที่สุด
รวม	**4.58**	**0.57**	**ระดับมากที่สุด**
2. การออกแบบหน้าจอ			
2.1 รูปแบบหน้าจอ ขนาดตัวอักษรและสีที่นำเสนอมีความเหมาะสม	4.50	0.69	ระดับมากที่สุด
2.2 มีการใช้ภาษาที่ง่ายต่อความเข้าใจ	4.50	0.69	ระดับมากที่สุด
2.3 มีความสวยงามและง่ายต่อการใช้งาน	4.70	0.47	ระดับมากที่สุด
รวม	**4.57**	**0.62**	**ระดับมากที่สุด**
โดยรวม	**4.58**	**0.59**	**ระดับมากที่สุด**

จากตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ป่วยที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.59) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พอสรุปได้ดังนี้ ด้านประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.57) และด้านการออกแบบหน้าจออยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.57, S.D. = 0.62)

ตารางที่ 3 ผลประเมินความพึงพอใจของอาจารย์และนักศึกษาที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที จำนวน 50 คน

รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ประสิทธิภาพในการทำงาน			
1.1 สามารถจัดเก็บข้อมูลการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้สะดวกและรวดเร็ว	4.54	0.65	ระดับมากที่สุด
1.2 สามารถตรวจสอบข้อมูลทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้อย่างรวดเร็ว	4.44	0.64	ระดับมากที่สุด
1.3 สามารถติดตามการทำกายภาพบำบัดโดยใช้ลูกบอลบริหารมือได้ตลอดเวลา	4.56	0.61	ระดับมากที่สุด
1.4 ใช้งานง่าย	4.52	0.58	ระดับมากที่สุด
1.5 ตรงต่อความต้องการของผู้ใช้	4.24	0.59	ระดับมากที่สุด
รวม	**4.46**	**0.61**	**ระดับมากที่สุด**
2. การออกแบบหน้าจอ			
2.1 รูปแบบหน้าจอ ขนาดตัวอักษรและสีที่นำเสนอมีความเหมาะสม	4.42	0.64	ระดับมากที่สุด
2.2 มีการใช้ภาษาที่ง่ายต่อความเข้าใจ	4.48	0.58	ระดับมากที่สุด
2.3 มีความสวยงามและง่ายต่อการใช้งาน	4.26	0.60	ระดับมากที่สุด
รวม	**4.39**	**0.61**	**ระดับมากที่สุด**
โดยรวม	**4.43**	**0.61**	**ระดับมากที่สุด**

จากตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจของอาจารย์และนักศึกษาที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.43, S.D. = 0.61) เมื่อพิจารณาในแต่ละด้าน พอสรุปได้ดังนี้ ด้านประสิทธิภาพในการทำงานอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.46, S.D. = 0.61) และด้านการออกแบบหน้าจออยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.39, S.D. = 0.61)

6. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยตามความสัมพันธ์กับมือข้างที่อ่อนแรงเป็นระยะเวลาต่อเนื่องกันของผู้ป่วย ส่งผลที่สอดคล้องกับวิธีการทำวิจัยเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและฟื้นฟูสมรรถภาพของมือข้างที่อ่อนแรงของผู้ป่วย ที่ได้ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง โดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอที ว่ากลุ่มเป้าหมายมีความพึงพอใจต่อระบบตามค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.60) แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรงโดยใช้ลูกบอลบริหารมือผ่านอุปกรณ์ไอโอทีที่ใช้งานด้วยการบันทึกและประเมินผลจากการที่ผู้ป่วยบีบอุปกรณ์ตามท่าทางที่แสดงบนอุปกรณ์สมาร์ทโฟนได้นั้น สามารถช่วยให้ผู้ป่วยฟื้นฟูสมรรถภาพ และง่ายการทำกายภาพบำบัดได้เองที่บ้าน อีกทั้งยังเป็นการเสริมแรงให้ผู้ป่วยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมในการทำกายภาพบำบัด จากการตรวจสอบและติดตามผลจากบุคคลรอบข้างได้ และช่วยให้นักกายภาพบำบัดที่เกี่ยวข้องสามารถดูประวัติการทำกายภาพบำบัดย้อนหลังผ่านแดชบอร์ด เพื่อนำมาวิเคราะห์และวางแผนการรักษาตามอาการของผู้ป่วยได้ต่อไป

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้ เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ผู้ดูแลผู้ป่วยสามารถนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับการจัดตารางการทำกายภาพบำบัดของผู้ป่วยแต่ละคนถึงท่าทาง จำนวนครั้งและระยะเวลาที่ใช้ให้เหมาะสม

7.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบ การออกแบบ UX/UI ควรคำนึงถึง User friendly, HCI, UX / UI

7.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ควรเพิ่มฟังก์ชันของการพัฒนาระบบให้มีการเชื่อมต่อแบบเครือข่ายของอุปกรณ์ที่เป็นไคลเอนท์เพื่อส่งข้อมูลต่างๆ เพิ่มเติม อาทิเช่น สถานที่อยู่ของผู้ป่วย ค่าความดัน อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณออกซิเจนของผู้ป่วยเป็นต้น ไปยังฐานข้อมูลของเครื่องเซิร์ฟเวอร์ผ่านระบบคลาวด์ เพื่อรวมชุดข้อมูลที่ได้ไว้ที่ส่วนกลาง ให้กับนักกายภาพบำบัดนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในภาพรวม และจะได้ง่ายต่อการแยกกลุ่มผู้ป่วยกล้ามเนื้ออ่อนแรงตามความรุนแรงของอาการ และสถานพยาบาลที่สังกัดได้

8. เอกสารอ้างอิง

นคร วรารัตน์, วุฒิการ เขมะวิชานุรัตน์ และสุกฤชชา มณีวรรณ. (2562). *การสร้างเครื่องมือช่วยฟื้นฟูเด็กสมองพิการแขนขาอ่อนแรงและมีความบกพร่องทางการเคลื่อนไหว*. กระทรวงสาธารณสุข.

ศศิธร มุกประดับ. (2557). *ผลของโปรแกรมส่งเสริมการเคลื่อนไหวแบบมุ่งเป้าหมายต่อผลลัพธ์ทางกล้ามเนื้อกระดูกและข้อในผู้ป่วยบาดเจ็บที่มีข้อจำกัดการเคลื่อนไหว*. ภาควิชาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพยาบาลศาสตร์ (การพยาบาลผู้ใหญ่). มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

โอฬาร อิสริยะพันธุ์. (2563). *ผลของการฝึกความแข็งแรงร่วมกับการฝึกกิจกรรมอย่างมีเป้าหมายที่บ้านต่อการทำงานของรยางค์ส่วนบนในผู้ป่วยโรคหลอดเหลือดสมองระยะเรื้อรัง*. ภาควิชาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชากายภาพบำบัด. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Ray AD, Udhoji S, Mashtare TL, Fisher NM. (2013). *A combined inspiratory and expiratory muscle training program improves respiratory muscle strength and fatigue in multiple sclerosis*. Arch Phys Med Rehabil. Oct 94(10): 1964-70.

วิกฤตโลกร้อนจากก๊าซเรือนกระจก: สาเหตุ ผลกระทบ และแนวทางการแก้ไข

GLOBAL WARMING CRISIS CAUSED BY GREENHOUSE GASES: CAUSES, IMPACTS AND SOLUTIONS

มนนภา เทพสุด

สำนักวิชาศึกษาทั่วไป

E-mail: Monnapa.th@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ภาวะโลกร้อนที่ทำให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปในโลกยุคปัจจุบัน เป็นสภาพการณ์ที่เกิดจากความไม่สมดุลของปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศ อันมีสาเหตุสำคัญมาจากปรากฏการณ์เรือนกระจกที่รุนแรง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากผลการพึ่งพิงพลังงานกระแสหลักจากเชื้อเพลิง ฟอสซิล ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของโลกยุคอุตสาหกรรม โดยมีแหล่งปล่อยใหญ่มาจากภาคพลังงาน ผนวกกับการทำลายพื้นที่ป่าเพื่อปรับเปลี่ยนที่ดินมาใช้ขยายพื้นที่ต่างๆ โดยผลกระทบจากภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การละลายตัวของน้ำแข็งขั้วโลก และภัยพิบัติต่างๆ ล้วนทวีความรุนแรงและปรากฏขึ้นอย่างบ่อยครั้ง สร้างความเสียหายให้กับธรรมชาติสิ่งแวดล้อม และการดำรงอยู่ของมนุษย์ สำหรับการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน เพื่อยับยั้งไม่ให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นต่อไปจนถึงขีดอันตราย สามารถทำได้บนสามแนวทางหลักคือ (1) ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ (2) กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ และ (3) กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งผลิต

คำสำคัญ: ภาวะโลกร้อน ก๊าซเรือนกระจก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ น้ำแข็งขั้วโลกละลาย

ABSTRACT

The global warming that causes climate change in today world is a situation that arises from an imbalance in the amount of greenhouse gases, especially carbon dioxide that increasing in the atmosphere, which is the cause of the severe greenhouse effect and which occurs due to the dependency on mainstream energy from fossil fuels that drive the economy of the industrial age world. The industrial age which has a large source of emission from the energy sector as well as having reinforcements from deforestation of the forest in order to change the land to be used to expand the various areas. This phenomenon has increased a severity of climate change, disasters, sea ice melt, which directly impact on environment and human livelihood. Therefore, the solutions to global warming could be achieved by reducing the emission of carbon dioxide in to atmosphere, and removing carbon dioxide from the atmosphere and from the generating sources emission.

Keywords: Global Warming, Greenhouse Gas, Climate Change, Sea Ice Melt

1. บทนำ

ทุกวันนี้ทั่วทั้งโลกต่างกำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสุดขั้วกันมากขึ้น บางประเทศต้องเผชิญกับสภาพอากาศร้อนจัดถึง 50 องศาเซลเซียส ขณะที่บางประเทศต้องเผชิญกับสภาพอากาศที่หนาวจัดถึงขั้นต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ทั้งอีกหลายประเทศยังต้องเผชิญกับภัยแล้งและน้ำท่วมหนักกันมากขึ้น แน่นอนว่าสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ย่อมส่งผลกระทบคุกคามความอยู่รอดของชีวิตและจะหนักยิ่งขึ้นต่อไป จนยากที่สภาพภูมิอากาศโลกจะกลับคืนมาเหมือนเดิมได้ หากยังคงผลาญใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลกันอย่างไร้ขีดจำกัด โดยไม่จริงจังต่อการแก้ปัญหาอย่างแท้จริง

2. วัตถุประสงค์

(1) เพื่อเผยแพร่สาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนในโลกยุคปัจจุบัน

(2) เพื่อเผยแพร่ถึงผลกระทบที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

(3) เพื่อเผยแพร่แนวทางการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน

3. สาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนในโลกยุคปัจจุบัน

3.1 จุดเริ่มโลกร้อน

ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างผิดธรรมชาติในโลกยุคปัจจุบัน มีจุดเริ่มต้นเมื่อสังคมโลกเข้าสู่ยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม ผลการพัฒนาความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและสังคม บนแหล่งพลังงานกระแสหลักของเชื้อเพลิงฟอสซิลที่อุดมด้วยคาร์บอน (ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ) ได้ส่งผลอันตรายให้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักของภาวะโลกร้อน (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, 2558) ถูกผลิตแล้วปล่อยสู่บรรยากาศอย่างไม่หยุดนิ่ง

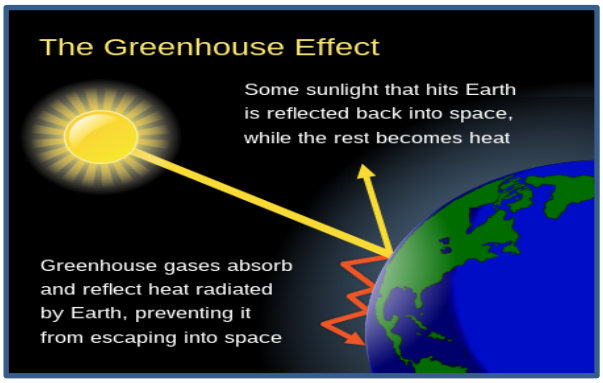
ทั้งนี้ รายงานการประเมินด้านสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 4 (Forth Assessment Report: AR4) ของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ “ไอพีซีซี” (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ขององค์การสหประชาชาติ เมื่อปี พ.ศ. 2550 ได้ระบุว่า มีความเป็นไปได้สูงถึงร้อยละ 90 ที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกในยุคปัจจุบัน ซึ่งเพิ่มสูงขึ้นอย่างผิดปกติโดยเฉพาะในช่วง 50 ปีที่ผ่านมา เกิดจากผลการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ยุคอุตสาหกรรม ที่ร่วมกันปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนานาชนิดเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ จนมากเกินระดับความพอดี (Wikipedia, 2022) และรายงานการประเมินด้านสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 6 (Sixth Assessment Report; AR6) ในปี พ.ศ. 2564 ของ IPCC ได้ให้ข้อมูลยืนยันว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Climate Matters, 2021)

3.2 คาร์บอนไดออกไซด์: ก๊าซเรือนกระจกตัวการหลัก

ปกติแล้ว ภายในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกจะมีก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) และโอโซน (O_3) ซึ่งมีสมบัติกักเก็บความร้อนไว้ได้ดี แพร่กระจายอยู่ในปริมาณที่สมดุล ซึ่งความสมดุลของก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้ ได้ส่งผลให้ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกการควบคุมสมดุลพลังงานของโลก ดำเนินไปตามวิถีแห่งธรรมชาติ

กล่าวคือ เมื่อรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่องมายังพื้นโลก รังสีส่วนหนึ่งจะสะท้อนออกจากชั้นบรรยากาศแล้วกลับขึ้นสู่อวกาศทันที ส่วนที่เหลืออีกประมาณร้อยละ 70 จะเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ แล้วตกกระทบลงมาบนพื้นผิวโลก จนเมื่อโลกได้รับความอบอุ่นเพียงพอแล้ว โลกก็จะปล่อยรังสีความร้อนให้เคลื่อนที่

ผ่านออกสู่อวกาศ แต่รังสีบางส่วนซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดจะถูกก๊าซเรือนกระจกที่แพร่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกดูดกลืนไว้ แล้วค่อยๆ ปล่อยออกมาให้แพร่กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก (รูปที่ 1) ซึ่งจะส่งผลให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส ทำให้ทุกชีวิตสามารถดำรงชีพอยู่ได้ ซึ่งหากไม่มีกลไกนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกจะอยู่ที่ -18 องศาเซลเซียสเท่านั้น (National Weather Service, n.d.)



รูปที่ 1 ปรากฏการณ์เรือนกระจกโดยธรรมชาติ

ที่มา: (Wikipedia, 2022)

ต่อมาเมื่อสังคมโลกเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม ผลการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ได้ทำให้ก๊าซเรือนกระจกนานาชนิดถูกผลิตแล้วปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศอย่างต่อเนื่องจนมีปริมาณมากเกินระดับความสมดุล รังสีความร้อนที่พื้นผิวโลกแผ่ออกมา จึงถูกกลุ่มก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากเกิน ร่วมกันดูดกลืนแล้วปล่อยกลับสู่บรรยากาศและผิวโลกมากขึ้น ปรากฏการณ์เรือนกระจกจึงดำเนินไปอย่างรุนแรงยิ่งขึ้น ทำให้ความร้อนผ่านออกสู่อวกาศได้น้อยลง แต่กลับถูกเก็บสะสมไว้บนพื้นผิวโลกและบรรยากาศใกล้ผิวโลกได้มากกว่าระดับปกติ อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกจึงเพิ่มสูงขึ้นแล้วเกิดเป็นภาวะโลกร้อน ที่ส่งผลให้สภาพภูมิอากาศโลกเปลี่ยนแปลง (Climate Change) ดังเช่นที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน

สำหรับก๊าซเรือนกระจกที่มีปริมาณมากสุดในชั้นบรรยากาศสามลำดับแรก คือ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไนตรัสออกไซด์ ด้วยสัดส่วนร้อยละ 74 , 17 และ 6.2 ตามลำดับ (Ge and Friedrich, 2020) มีแหล่งปล่อยมาจากการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างของแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญสามชนิด

ก๊าซเรือนกระจก	ตัวอย่างของแหล่งปล่อยที่มาจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์
คาร์บอนไดออกไซด์	การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล การทำลายป่า การผลิตเหล็กและซีเมนต์
มีเทน	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล นาข้าว การเลี้ยงสัตว์เคี้ยวเอื้อง
ไนตรัสออกไซด์	การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมไนลอน

ที่มา: (สุนันท์ วิทิตสิริ, 2554)

เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสามารถกักเก็บความร้อนได้มากสุดและนานสุด เมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น เพราะมีปริมาณการสะสมตัวในชั้นบรรยากาศมากกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ (แหล่งปล่อยใหญ่มาจากการเผาเชื้อเพลิงฟอสซิลในภาคพลังงาน) (Ge and Friedrich, 2020) อีกทั้งสามารถคงอยู่ในชั้น

บรรยากาศได้นานสุดเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ดังนั้นคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักที่ก่อปัญหาภาวะโลกร้อน แม้จะมีค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) น้อยสุดก็ตาม (Hinkle Charitable Foundation, n.d.) (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ระยะเวลาคงอยู่ในชั้นบรรยากาศและค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญสามชนิด

ก๊าซเรือนกระจก	ระยะเวลาคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ (ปี)	ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (ระยะเวลา 100 ปี)
คาร์บอนไดออกไซด์	50-200	1
มีเทน	12	23
ไนตรัสออกไซด์	114	296

ที่มา: (Hinkle Charitable Foundation, n.d.)

3.3 การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

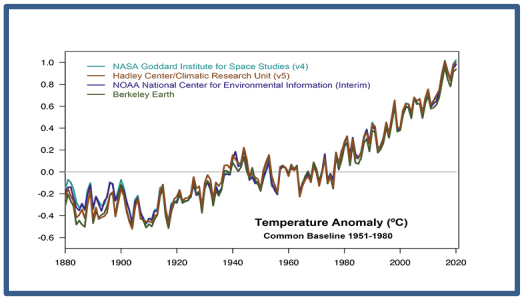
ช่วงเวลา 10,000 ปีก่อนยุคอุตสาหกรรม สภาพภูมิอากาศโลกที่มีความมั่นคง มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกด้วยปริมาณค่อนข้างคงที่ที่ระดับความเข้มข้น 280 ส่วนในล้านส่วน (part per million: ppm) แต่เมื่อเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม การระดมเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิลและการทำลายผืนป่า (แหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์) อย่างไร้ขีดจำกัดจากนานาประเทศ ได้ส่งผลให้ภายในชั้นบรรยากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณการสะสมตัวอยู่ที่ระดับ 315 ppm ในปี พ.ศ. 2501 และถึงระดับ 415 ppm ในปี พ.ศ. 2564 (Rasmussen, 2022) ทั้งที่ตลอดช่วงเวลาหนึ่งล้านปีภายในชั้นบรรยากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงสุดไม่เกิน 300 ppm เท่านั้น (CO2.Earth, n.d.)

โดยหากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังคงมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 450 ppm อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกจะเพิ่มสูงตามมาถึง 2 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบจากก่อนยุคอุตสาหกรรม ซึ่งจะส่งผลให้ระบบภูมิอากาศพังทลาย และระบบสิ่งแวดล้อมโลกเกิดการเปลี่ยนแปลงตามมาอย่างแน่นอน (ธารา บัวคำศรี, 2550)

4. ผลกระทบที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

4.1 สถานการณ์โลกร้อนในโลกยุคปัจจุบัน

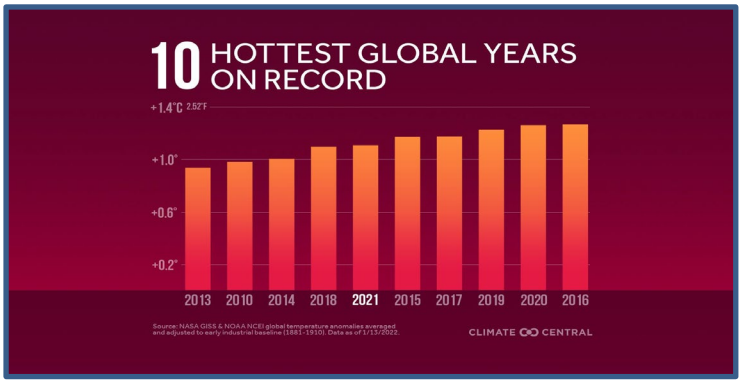
สถิติอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 (ค.ศ. 1850) (รูปที่ 2) คือ หนึ่งในหลักฐานสำคัญที่แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยบนผิวโลกช่วงปี ค.ศ. 1880-2020

ที่มา: (NASA Global Climate Change, 2022)

โดยในปี พ.ศ. 2564 อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกได้เพิ่มสูงขึ้น 1.12 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบจากช่วงปี พ.ศ. 2423-2463 ซึ่งนับเป็นปีที่ร้อนสุดเป็นอันดับ 6 นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2423 เป็นต้นมา (CO2.Earth, n.d.) และ 10 ปีที่ร้อนมากสุดปรากฏขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2010) (รูปที่ 3) (Climate Matters, 2022)



รูปที่ 3 กราฟแสดง 10 อันดับแรกของปีที่ร้อนสุด
ที่มา: (Climate Matters, 2022)

อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งในชั้นบรรยากาศ พื้นดิน และพื้นน้ำ ส่งผลให้โลกรวนทั้งทางด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการละลายตัวอย่างรวดเร็วของน้ำแข็งขั้วโลก ซึ่งต่างมีผลกระทบติดตามมามากมายหลายด้าน

4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก

อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน ส่งผลอันตรายให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไป โดยปรากฏจำนวนวันที่อากาศร้อนมากขึ้นจนฤดูหนาวหดสั้นลง และฝนไม่ตกตามฤดูกาล ที่ผ่านมาหลายประเทศต้องเผชิญกับสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงสุดขั้ว โดยเมื่อปี พ.ศ.2561 ประเทศสหรัฐอเมริกาต้องผจญกับความหนาวเหน็บจากอุณหภูมิที่ลดลงอย่างรวดเร็วจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (MGR Online, 2561) ในขณะที่ประเทศออสเตรเลียร้อนจัดจนเกิดไฟป่าในหลายพื้นที่ (Thai PBS, 2561) และในปี พ.ศ. 2565 ประเทศปากีสถานต้องประสบกับอุทกภัย (Thai PBS, 2565) ในระหว่างที่วิกฤตภัยแล้งเกิดขึ้นทั่วโลก นอกจากนี้ภัยพิบัติต่างๆ ทั้งคลื่นความร้อน ภัยแล้ง ไฟป่า น้ำท่วม และพายุ ยังเกิดขึ้นอย่างบ่อยครั้ง พร้อมทวีความรุนแรง และขยายบริเวณ คุกคามความเป็นอยู่ของทุกชีวิตกอย่างไม่สามารถหลีกพ้นได้

4.2.1 คลื่นความร้อน

องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ให้ความหมายคลื่นความร้อน ว่าเป็นภาวะที่อุณหภูมิสูงสุดประจำวันเกินค่าอุณหภูมิสูงสุดโดยเฉลี่ยประมาณ 5 องศาเซลเซียส ติดต่อกันเป็นเวลาอย่างน้อย 5 วัน (นันทวัน สมสุข, 2565)

โดยในปี พ.ศ. 2565 ประเทศต่างๆ ต้องเผชิญกับอุณหภูมิที่สูงขึ้นอย่างเป็นประวัติการณ์ ดังเช่นประเทศจีนต้องเผชิญกับคลื่นความร้อนที่รุนแรงและยาวนานที่สุดในรอบ 60 ปี จากอุณหภูมิที่สูงเกิน 40 องศาเซลเซียส (Nation Online, 2565)

4.2.2 ความแห้งแล้ง

อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้น้ำระเหยเร็วขึ้นจนผืนดินแห้ง หลายพื้นที่ต้องประสบกับภาวะภัยแล้งกันยาวนาน ซึ่งปัจจุบันแม่น้ำ อ่างเก็บน้ำ และทะเลสาบหลายแห่งทั่วโลกต่างเหือด

แห้งกันมากขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2565 หลายประเทศต้องประสบกับภัยแล้งหนักหน่วง ดังเช่น ประเทศสเปนและโปรตุเกส ต้องเผชิญกับสภาพอากาศแห้งแล้งมากสุดในรอบ 1200 ปี (TNN Online, 2565)

4.2.3 ไฟป่า

อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระตุ้นให้เกิดไฟป่าบ่อยครั้งในหลายประเทศ โดยในปี พ.ศ.2565 ประเทศฝรั่งเศสต้องเผชิญสภาพอากาศร้อนจัดจนเกิดไฟป่าขนาดใหญ่เผาทำลายพื้นที่กว่า 100 ตารางกิโลเมตร (สำนักข่าวไทย, 2565)

4.2.4 ฝนตกหนัก

เมื่อโลกอบอุ่นขึ้น ความชื้นในบรรยากาศจะเพิ่มขึ้นตามมา หลายพื้นที่จึงประสบกับฝนตกหนัก โดยในปี พ.ศ. 2565 ที่กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้ ต้องประสบกับฝนตกครั้งรุนแรงที่สุดในรอบ 80 ปี (BBC News ไทย, 2022)

4.2.5 พายุ

ด้วยน้ำมีความสามารถกักเก็บความร้อนได้มากกว่าดินที่ทึบแสง และน้ำทะเลมีพื้นผิวครอบคลุมผิวโลกประมาณ 3 ใน 4 นั่นหมายความว่าเมื่อโลกร้อนมากขึ้น ผืนดินจะร้อนมากกว่าน้ำทะเล ดังนั้นอุณหภูมิระหว่างผืนดินกับพื้นน้ำจะแตกต่างกันมากขึ้น ทำให้ลมจากทะเลพัดเข้าหาฝั่งรุนแรงขึ้น พายุจากทะเลจึงเพิ่มจำนวนและขยายขนาดความรุนแรงได้มากขึ้น

โดยในปี พ.ศ. 2565 ประเทศฟิลิปปินส์ต้องเผชิญกับพายุไต้ฝุ่น “โนรู” กำลังแรงระดับ 5 (กรุงเทพธุรกิจ, 2565)

4.3 การละลายตัวอย่างรวดเร็วของน้ำแข็งขั้วโลก

อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน ได้ส่งผลกระทบให้ผืนน้ำแข็งขั้วโลกละลายตัวในแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงกว่าเดิมเรื่อยๆ น้ำแข็งใหม่จึงก่อตัวได้ยากขึ้นในช่วงฤดูหนาว

โดยในเดือนกันยายนของปีพ.ศ. 2565 ผืนน้ำแข็งที่ปกคลุมมหาสมุทรอาร์กติกซึ่งอ่อนไหวต่อภาวะโลกร้อน ได้ละลายตัวจนเหลือพื้นที่ 4.67 ล้านตารางกิโลเมตร เมื่อเทียบจากช่วงปี พ.ศ. 2524-2553 ที่มีขนาด 6.22 ล้านตารางกิโลเมตร (NASA Earth Observatory, 2022) อีกทั้งปริมาตรน้ำแข็งในอาร์กติกในช่วงฤดูหนาวยังลดลงถึง 1 ใน 2 หรือคิดเป็น 6000 ลูกบาศก์กิโลเมตรแล้วภายในระยะเวลา 18 ปี (Nield, 2022)

แม้การละลายตัวของน้ำแข็งที่ขั้วโลกเหนือ จะไม่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเหมือนกับการละลายของผืนน้ำแข็งบนพื้นดินแบบที่ขั้วโลกใต้ แต่การลดขนาดและการบางลงของทะเลน้ำแข็งจะส่งผลกระทบตามมาอย่างรุนแรง เพราะสามารถเร่งความเร็วให้โลกร้อนมากขึ้นและเร็วขึ้นต่อไป เนื่องจากพื้นผิวน้ำแข็งสีขาว มีสมบัติสะท้อนรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์กลับสู่อวกาศได้มากถึงร้อยละ 90 ขณะที่น้ำทะเลมีสมบัติดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ไว้ได้มากถึงร้อยละ 90 ดังนั้นเมื่อน้ำแข็งละลายกลายเป็นน้ำ พื้นที่น้ำแข็งส่วนที่เหลืออยู่จึงสะท้อนรังสีความร้อนสู่ชั้นบรรยากาศได้น้อยลง ในขณะที่น้ำทะเลซึ่งดูดซับรังสีความร้อนไว้ได้ดีกลับมีปริมาณมากขึ้น น้ำทะเลจึงอุ่นขึ้น น้ำแข็งที่เหลือจึงละลายเร็วขึ้นต่อไป กล่าวคือยิ่งโลกมีพื้นผิวน้ำแข็งน้อยลง พื้นผิวโลกจะยิ่งร้อนมากขึ้น การสูญเสียน้ำแข็งก็จะรวดเร็วยิ่งขึ้น

สำหรับผลกระทบจากการละลายของผืนน้ำแข็งที่อาร์กติก นอกจากจะร่วมส่งเสริมให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงแล้ว ยังส่งผลกระทบคุกคามความเป็นอยู่ของสัตว์นานาชนิดไม่ว่าจะเป็นหมีขั้วโลก สิงโตทะเล และ แมวน้ำให้ต้องเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์

4.3.1 ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น

การขยายตัวของน้ำในมหาสมุทรที่อุ่นขึ้นและการละลายตัวของน้ำแข็งขั้วโลก ได้ร่วมกันส่งผลกระทบให้ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูง ย่อมส่งผลกระทบให้ผู้คนจำนวนมากที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งหรือ ที่ลุ่มได้รับความทุกข์ยาก เพราะเมื่อน้ำทะเลมีระดับเพิ่มสูงขึ้นจนไหลซึมเข้ามายังผืนดิน ผืนดินจะเสื่อมสภาพจนไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้

นอกจากนี้ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูง ยังทำให้เกิดคลื่นพายุซัดฝั่งรุนแรงในวงกว้าง โดยปี พ.ศ. 2564 ชายหาด “ซาซอนจิน” ที่ประเทศเกาหลีใต้ ซึ่งมีความกว้าง 40 เมตรในปี พ.ศ. 2562 ได้มีขนาดลดลงเหลือประมาณ 3 เมตร หลังจากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นและชายหาดถูกกัดเซาะอย่างรุนแรง (TNN Online, 2564)

4.4 การคาดการณ์ผลกระทบในอนาคตจากภาวะโลกร้อน

รายงานเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ (Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability) ที่เผยแพร่โดย IPCC ได้ประมาณการณ์ว่านับจากปัจจุบันจนถึงปี พ.ศ. 2643 ประชากรราว 3.3 – 3.6 พันล้านคนจะมีความเสี่ยงสูงต่อผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และส่วนใหญ่มาจากพื้นที่ด้อยพัฒนา (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2565)

อีกทั้งกลุ่ม Climate Central ยังได้วิเคราะห์ว่า หากอุณหภูมิพื้นผิวโลกเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียส ประเทศที่เป็นเกาะเล็กๆ และเมืองชายฝั่งจะถูกน้ำท่วม และหากอุณหภูมิพื้นผิวโลกเพิ่มถึง 3 องศาเซลเซียส เมืองใหญ่ 50 แห่งทั่วโลกที่ตั้งอยู่ติดชายฝั่งทะเล อาจจมน้ำจนต้องอพยพออก (TNN Online, 2564)

5. แนวทางการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน

ด้วยความหวังที่มนุษยชาติจะหลีกเลี่ยงหายนะจากภัยคุกคามต่างๆ เนื่องจากภาวะโลกร้อนได้นั้น อยู่ที่การจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไม่ให้เกิน 1.5 องศาเซลเซียสตามความตกลงปารีส (Paris Agreement) ซึ่งได้กำหนดให้ประเทศต่างๆ จำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกไม่ให้เพิ่มขึ้นมากกว่า 2 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบจากระดับก่อนยุคอุตสาหกรรม โดยตรึงเป้าหมายไว้ที่ 1.5 องศาเซลเซียส

ประเทศต่างๆ จึงต้องร่วมกันแก้ปัญหาซึ่งสามารถทำได้บน 3 แนวทางหลัก ได้แก่

(1) ลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ

โดยลดการใช้พลังงานจากฐานเชื้อเพลิงฟอสซิล ด้วยการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ลดการบริโภคที่ไม่จำเป็น ซึ่งได้แก่การลดปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์ (Reduce) การแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วมาผลิตใช้ใหม่ (Recycle) การนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วที่ยังมีประสิทธิภาพดีมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Reuse) และการซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องใช้ที่สึกหรอให้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ (Repair)

ที่สำคัญยิ่งคือ การเปลี่ยนฐานพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมาเป็นพลังงานสะอาดที่ปราศจากคาร์บอน (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ)

(2) กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ

ด้วยการเพิ่มเหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการเพิ่มพื้นที่ป่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ เนื่องจากต้นไม้มีกลไกธรรมชาติที่จะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) เพื่อสร้างอาหารดำรงชีวิต

ทั้งนี้ มีข้อมูลสนับสนุนจาก ดร.โทมัส ครอว์เธอร์ นักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมชาวอเมริกันว่า การปลูกต้นไม้ทั่วโลกจำนวน 1.2 ล้านล้านต้น สามารถช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกในรอบ 10 ปีที่ผ่าน

มาได้ และประเทศจีนก็ได้วางเป้าหมายจะเพิ่มพื้นที่ป่าจากที่มีอยู่ร้อยละ 21.6 เป็นร้อยละ 26 ภายในปี พ.ศ. 2593 (Green News, 2019) รวมถึงอดีตนายกรัฐมนตรีสกอต มอร์ริสัน จากประเทศออสเตรเลีย ก็แถลงไว้เมื่อปี พ.ศ. 2562 ว่า ออสเตรเลียมีเป้าหมายจะปลูกต้นไม้ให้ได้ 1,000 ล้านต้น ภายในปี พ.ศ. 2593 (Khaosod Online, 2562) สำหรับประเทศไทยก็มีแผนยุทธศาสตร์แห่งชาติ 20 ปี เพิ่มพื้นที่ป่าและพื้นที่สีเขียวให้ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 55 ภายในปี พ.ศ. 2580 ด้วยเช่นกัน (สำนักข่าวประชาสัมพันธ์, 2565)

(3) กำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกจากแหล่งผลิต

โดยการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปสารประกอบชนิดอื่นด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การใช้จุลสาหร่าย (Biodiversity Research and Training Program, n.d.) และ/หรือด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น การเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของแข็งคาร์บอเนต ซึ่งมีความคงทนมากกว่า และการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นแป้ง (Urban Creature, 2021)

รวมทั้งการดักจับและกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากแหล่งผลิต (CO_2 Capture and Storage: CCS) มาอัดฝังเก็บไว้ใต้พื้นดินระดับลึก เช่น แหล่งน้ำมัน ซึ่งต้องคำนึงถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นด้วย เพราะแหล่งกักเก็บนี้สามารถรั่วร้าวตามมาได้ หากมีภัยพิบัติทางธรรมชาติเกิดขึ้น

6. สรุป

ภาวะโลกร้อนในโลกยุคปัจจุบันถูกเร่งให้เกิดขึ้นโดยมีมนุษย์เป็นผู้ก่อ จากผลการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เข้ามาแทรกแซงทำลายสมดุลของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ จนเป็นเหตุให้ปรากฏการณ์เรือนกระจกดำเนินไปอย่างรุนแรงมากขึ้นนั้น ได้ส่งผลร้ายให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นตามมาอย่างผิดธรรมชาติ หลายประเทศต้องเผชิญกับเหตุการณ์สภาพอากาศสุดขั้ว รวมถึงน้ำแข็งขั้วโลกละลาย และภัยคุกคามรุนแรงต่างๆ อย่างบ่อยครั้งและยาวนานขึ้น ซึ่งสถานการณ์จะเลวร้ายลงและความสูญเสียจะเกิดขึ้นตามมาอย่างมหาศาล หากภาคส่วนต่างๆ ไม่เร่งกันแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนอย่างจริงจัง

7. ข้อเสนอแนะ

การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนจะสำเร็จได้ จำเป็นต้องมีการเผยแพร่องค์ความรู้ทั้งทางด้าน สาเหตุ ผลกระทบ และแนวทางการแก้ปัญหา รวมถึงข้อมูลของสถานการณ์ภัยคุกคามที่เกิดขึ้น ให้สาธารณชนได้รับรู้อย่างกว้างขวางและต่อเนื่อง ด้วยเมื่อประชาชนมีความรู้ความเข้าใจในปัญหาภาวะโลกร้อนแล้ว การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนก็จะได้รับความร่วมมือมากยิ่งขึ้น และทุกภาคส่วนต้องให้ความสำคัญต่อการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนอย่างจริงจัง เพื่อไม่ให้โลกร้อนทวีความรุนแรงคุกคามคุณภาพชีวิตไปมากกว่านี้

8. เอกสารอ้างอิง

กรุงเทพธุรกิจ. (2565). *ไต้ฝุ่นโนรูถล่มหนักฟิลิปปินส์ เสียชีวิตเบื้องต้น 5 ราย.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.bangkokbiznews.com/world/1028957.

ธารา บัวคำศรี. (2550). *โลกร้อน 5 ºC.* กรุงเทพมหานคร: ดินสามน้ำหนึ่ง.

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล. (2558). *สภาพภูมิอากาศแปรเปลี่ยนและผลกระทบต่อประเทศไทย* ใน สมชัย บวรกิตติ (บรรณาธิการ), *เมื่อโลกร้อนขึ้น*. กรุงเทพฯ: กรุงเทพเวชสาร.

นันทวัน สมสุข. (2565). *คลื่นความร้อน...ภัยร้อนแสนอันตราย.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.scimath.org/article-science/item/12578-2022-02-15-07-00-17-2-2-2-2-2.

ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. (2565). *เมื่อโลกกำลังละลาย GLOBAL WARMING AND WARNING!.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.kasikornresearch.com/th/analysis/k-social-media/Pages/Global-Warming-FB-11-03-2022.aspx.

สำนักข่าวไทย. (2565). *ไฟป่าในฝรั่งเศส ผลาญ 100 ตารางกิโลเมตร.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://tna.mcot.net/world-980836.

สำนักข่าวประชาสัมพันธ์. (2565). *รัฐบาลเดินหน้าเพิ่มพื้นที่สีเขียว พาประเทศบรรลุเป้าหมายลดโลกร้อน พร้อมชวนคนไทยมีส่วนร่วมดูแลรักษาป่า.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://thainews. prd. go.th/th/news/detail/TCATG220530085509676.

สุนันท์ วิทิตสิริ. (2554). *วิทยาการโลกร้อน.* กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์

BBC News ไทย.(2022). *อวสานบ้านพัก "ชนชั้นปรสิต" หลังน้ำท่วมใหญ่กรุงโซล.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.bbc.com/thai/articles/cv2lp426v9lo.

Biodiversity Research and Training Program. (n.d.) *สาหร่ายลดโลกร้อน.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: http://www1a.biotec.or.th/BRT/index.php/global-warming/282-co2-sink-by-seaweeds.

Climate Matters. (2021). *IPCC 6th Assessment Report-The Physical Science Basis*. [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://www.climatecentral.org/climate-matters/ipcc-6th-assessment-report-the-physical-science-basis

Climate Matters. (2022). *2021 in Review: Global Temperature Rankings.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://www.climatecentral.org/climate-matters/2021-review-global-temps.

CO2.Earth. (n.d.). *CO_2 Past, Present, Future.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https:// www.co2.earth/co2-past-present-future-article.

CO2.Earth. (n.d.). *Global Temperatures*. [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https:// www.co2.earth/global-warming-update.

Ge, M. and Friedrich, J. (2020). *4 Charts Explain Greenhouse Gas Emissions by Countries and Sectors.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://thecityfix.com/blog/4-charts-explain-greenhouse-gas-emissions-countries-sectors/.

Green News. (2019). *ช่วยกันปลูกต้นไม้... คำตอบสุดท้ายของการลดโลกร้อน.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://greennews.agency/?p=19088.

Hinkle Charitable Foundation. (n.d.*).Report 3: How do Greenhouse Gases Cause Global Warming?*. [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://www.thehcf.org/report-3-how-do-greenhouse-gases cause-global-warming.

Khaosod Online. (2562). *ชื่นชม "ออสซี่" ร่วมวงปลูกป่า "พันล้านต้น" เดินหน้าลดโลกร้อน-ก๊าซเรือนกระจก.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.khaosod.co.th/around-the-world-news/news _2220299.

MGR Online. (2561). *โลกวิปริตอเมริกาหนาวยะเยือกติดลบ ยุโรปผจญพายุลมแรง จีนหิมะตกหนัก.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://mgronline.com/around/detail/9610000001145.

NASA Earth Observatory. (2022). *Arctic Sea Ice Tied for 10th-Lowest on Record.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://earthobservatory.nasa.gov/images/150383/arctic-sea-ice-tied-for-10th-lowest-on-record.

NASA Global Climate Change. (2022). *Why does the temperature record shown on your "Vital Signs" page begin at 1880?.* [Online]. Retrieved September 29, 2022, From: https://climate.nasa.gov/faq/21/why-does-the-temperature-record-shown-on-your-vital-signs-page-begin-at-1880/.

Nation Online. (2565). *จีนเผชิญคลื่นความร้อนยาวนานที่สุดใน 60 ปี.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: www.nationtv.tv/news/foreign/378883142.

National Weather Service. (n.d.). *The Earth-Atmosphere Energy Balance.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://www.weather.gov/jetstream/energy.

Nield, D. (2022). *Arctic Ice Already Thinning at a 'Frightening Rate', Satellites Reveal.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://www.sciencealert.com/arctic-thinning-at-frightening-rate-remote-satellite-data-shows.

Rasmussen, C. E. (2022). *Atmospheric Carbon Dioxide Growth Rate.* [Online]. Retrieved September 29, 2022, From: http://mlg.eng.cam.ac.uk/carl/words/carbon.html.

Thai PBS. (2561). *ออสเตรเลียอากาศร้อนจัด เกิดไฟป่ากว่า 50 จุด.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.thaipbs.or.th/news/content/269163.

Thai PBS. (2565). *ปากีสถานอ่วม น้ำท่วมหนักกระทบ 33 ล้านคน เสียชีวิต 1,136 คน.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.thaipbs.or.th/news/content/318944.

TNN Online. (2564). *เปิดข้อมูล 50 เมืองใหญ่ทั่วโลกตึกระฟ้าจะจมบาดาลจนต้องอพยพ.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.tnnthailand.com/news/world/96384/.

TNN Online. (2564). *สุดอึ้ง! ชายหาดเกาหลีใต้จาก 40 เมตร หดเหลือ 3 เมตร จากปัญหาโลกร้อน.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.tnnthailand.com/news/world/97030/.

TNN Online. (2565). *ภาวะโลกรวนกระทบ "สเปน-โปรตุเกส" แห้งแล้งสุดในรอบ 1,200 ปี.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://www.tnnthailand.com/news/earth/122314/.

Urban Creature (2021). นักวิทย์จะกลายเป็นผู้ผลิตอาหาร! จีนเปลี่ยน CO_2 เป็นแป้งสังเคราะห์ แก้ปัญหาปากท้องและปกป้องสิ่งแวดล้อม [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 29 กันยายน 2565, จาก: https://urbancreature.co/co2-to-starch/

Wikipedia. (2022). *IPCC Fourth Assessment Report.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://en.wikipedia.org/wiki/IPCC_Fourth_Assessment_Report

Wikipedia. (2022). *Greenhouse Effect.* [Online]. Retrieved September 29, 2022. From: https://en. wikipedia. org/wiki/Greenhouse_effect.

การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

3D COMPUTER GAME DEVELOPMENT TO PROMOTE THE PREVENTION OF COVID-19

ภัทราพร พรหมคำตัน

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: pataraporn_pro@g.cmru.ac.th

ธีรภัทร์ คำเมืองใช

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

E-mail: 61143208@g.cmru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 และเพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 โดยมีรูปแบบของเกมเป็นเกมประเภทยิง (Shooting Games) วิธีการเล่นเกมนี้ ผู้เล่นต้องคอยควบคุมตัวละครเพื่อต่อสู้กับศัตรูจำนวนมากโดยการยิงใส่ศัตรู ในขณะเดียวกันก็ต้องคอยหลบกระสุนที่ศัตรูโจมตีเข้ามา ซึ่งศัตรูในที่นี้คือ ไวรัสโควิด-19 ในการสร้างเกมคอมพิวเตอร์จะใช้โปรแกรมเบลนเดอร์ (Blender) สำหรับออกแบบออกแบบตัวละครผู้เล่น ตัวละครศัตรู ไอเทม (Items) และฉากหลัง ใช้โปรแกรมยูนิตี้ (Unity) ในการสร้างเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ และใช้ภาษาซีชาร์ป (C#) ในการเขียนคำสั่งในการควบคุมโปรแกรม และใช้โปรแกรมไฟร์เบส (Firebase) ในการเก็บบันทึกคะแนนของผู้เล่น โดยเกมคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้มาสามารถนำไปใช้ส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 และทำให้ผู้เล่นเรียนรู้เกี่ยวในโรคโควิด-19 พร้อมกับได้รับความเพลิดเพลินไปพร้อมกัน สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในทดลอง คือ นักศึกษาสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 30 คน ผลจากงานวิจัย จากการทดลองนำไปใช้และประเมินความพึงพอใจที่มีต่อการใช้งาน พบว่ามีค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจอยู่ที่ 4.14 คะแนน และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.78 เมื่อแปลผลตามตามเกณฑ์พบว่าอยู่ในระดับ มาก

คำสำคัญ: เกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติ, โควิด-19, โปรแกรมเบลนเดอร์, โปรแกรมยูนิตี้

ABSTRACT

This research aims to develop a 3D computer game to promote the prevention of COVID-19 and to study the satisfaction of 3D computer game players to promote the prevention of COVID-19. The type of the game is a shooting game. How to play this game is the player have to control their characters to fight against a large number of enemies by shooting at them. At the same time, the player has to dodge the bullets that the enemy attacks where the enemy here is the COVID-19 virus. In creating computer games, Blender is used for designing

player characters, enemy characters, items, and backgrounds. Unity is used to create 3D computer games and uses C# language (C#) to write commands to control programs. Firebase program is used to store player score. This created computer game can be used to promote the prevention of COVID-19 and make players learn about COVID-19 along with being able to enjoy at the same time. . From the experiment and satisfaction enquiry with 30 samples of Computer Science students in Department of Computer, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, showed that the average score of satisfaction is 4.14 and the standard deviation is 0.78. The result is indicated that satisfaction score is high-level

Keywords: 3D Computer Game, Covid-19, Blender, Unity

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

โรคระบาดเป็นความเปลี่ยนแปลงเชิงมหภาคที่ส่งผลต่อมนุษย์ในหลายด้าน ทั้งด้านสุขภาพกาย จิตใจ เศรษฐกิจ สังคม และความเป็นอยู่ เป็นความเปลี่ยนแปลงที่ต้องอาศัยทักษะในการปรับตัวต่อการดำรงชีวิตค่อนข้างมาก โดยเฉพาะโรคโควิด-19 (COVID-19) ซึ่งเป็นโรคติดเชื้อจากไวรัสชนิดหนึ่งที่มีการระบาดในช่วงปี พ.ศ. 2562 ที่เมืองอู่ฮั่น ประเทศจีน โดยพบว่าเชื้อก่อโรคเป็นเชื้อในตระกูลโคโรนาไวรัส แต่เป็นสายพันธุ์ใหม่ที่ไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อน ดังนั้นทางองค์การอนามัยโลก จึงได้ตั้งชื่อโรคติดต่อชนิดนี้ใหม่ว่า โควิด-19 (COVID-19) ซึ่งปัจจุบันสถานการณ์โรคโควิดในประเทศไทยยังคงมีการระบาดอย่างต่อเนื่อง ทำให้รัฐบาลได้กำหนดให้โรคโควิด-19 เป็นโรคติดต่อที่ต้องเฝ้าระวัง แต่ยังไม่ถือว่าเป็นโรคประจำถิ่นเนื่องจากอัตราป่วยยังไม่คงที่ ทำให้มียอดผู้ติดเชื้อโควิด-19 รวมทั้งสิ้น 4.68 ล้าน ยอดผู้เสียชีวิต 32,764 คน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (วิกิพีเดีย, 2565) อีกทั้งยังมีการติดเชื้อโควิดได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดการแพร่ระบาดเป็นวงกว้าง โดยมีผู้ติดเชื้อโควิดสายพันธุ์โอมิครอนจำนวนมากกว่า 4 ล้านคน ซึ่งมากกว่าผู้ติดเชื้อโควิดสายพันธุ์เดลตาถึง 2 เท่า แต่ไวรัสโควิดสายพันธุ์เดลตาจะก่อให้เกิดอาการที่รุนแรงมากกว่า ส่งผลทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า 20,000 คน ในขณะที่ไวรัสโควิดสายพันธุ์โอมิครอนทำให้มีผู้เสียชีวิตประมาณ 10,000 คน (ฐานเศรษฐกิจ, 2565) ทั้งนี้ข้อมูลจากกรมควบคุมโรคพบว่าประชากรที่ติดเชื้อโควิดส่วนใหญ่อยู่ในช่วงอายุระหว่าง 20-29 ปี (กรมควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุข, 2564) และมีผู้ติดเชื้อที่ไม่แสดงอาการป่วยออกมา เมื่อติดเชื้อแล้วสามารถส่งเชื้อแพร่กระจายไปสู่ผู้อื่นได้อย่างไม่รู้ตัว

ปัจจุบันทั่วโลกมีการใช้สื่อในการให้ความรู้ ในรูปแบบต่างๆ มากมายไม่ว่าจะเป็นสื่อทางอินเตอร์เน็ต สื่อในรูปแบบของหนังสือ สื่อประเภทหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ (E-Books) สื่อมัลติมีเดีย (Multimedia) และสื่อในรูปแบบเกม ซึ่งสื่อประเภทเกมมีความโดดเด่นในเรื่องของการออกแบบมาเพื่อให้มีความสนุกสนาน ทำให้ผู้เล่นมีความสนใจต่างจากสื่อประเภทอื่นๆ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 เพื่อกระตุ้นให้ผู้เล่นมีความสนใจ ได้รับความสนุกสนานเพลิดเพลิน และได้ความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด-19 นำไปป้องกันตนเอง ครอบครัว เพื่อนบ้าน และคนใกล้ชิดให้ปลอดภัยจากโรคโควิด-19 ได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

(2) เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 โรคโควิด-19

อาการทั่วไปของโรคโควิด-19 ที่พบมากที่สุดคือ ไข้ ไอ ลิ้นไม่รับรส จมูกไม่ได้กลิ่น และอ่อนเพลีย อาการที่พบน้อยกว่า แต่อาจมีผลต่อผู้ป่วยบางรายคือ ปวดเมื่อย ปวดหัว คัดจมูก น้ำมูกไหล เจ็บคอ ท้องเสีย ตาแดง หรือผื่นตามผิวหนัง หรือสีผิวเปลี่ยนตามนิ้วมือนิ้วเท้า อาการเหล่านี้มักจะไม่รุนแรงนักและค่อยๆ เริ่มทีละน้อย บางรายติดเชื้อแต่มีอาการไม่รุนแรง ผู้ป่วยส่วนมากหายป่วยได้โดยไม่ต้องเข้ารักษาในโรงพยาบาล ประมาณ 1 ใน 5 ของผู้ติดเชื้อโควิด 19 มีอาการหนักและหายใจลำบาก ผู้สูงอายุและมีโรคประจำตัวเช่น ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ โรคเบาหวาน หรือมะเร็งมีแนวโน้มที่จะมีอาการป่วยรุนแรงกว่า อย่างไรก็ตามทุกคนสามารถติดโรคโควิด-19 ได้และอาจป่วยรุนแรง คนทุกเพศทุกวัยที่มีอาการไข้ และ/หรือไอร่วมกับอาการหายใจลำบาก/ติดขัด เจ็บหน้าอก เสียงหาย หรือเคลื่อนไหวไม่ได้ ควรปรึกษาแพทย์ทันที สำหรับการป้องกันตัวจากการติดเชื้อโควิด-19 ทำได้โดยการล้างมือบ่อยๆ ให้สะอาดด้วยแอลกอฮอล์เจล หรือด้วยน้ำสบู่ รักษาระยะอย่างน้อย 1 เมตร จากผู้อื่น หรือสวมหน้ากากอนามัยหากไม่สามารถรักษาระยะห่างได้ เลี่ยงการไปพื้นที่หนาแน่นหรือการระบายอากาศไม่ดี หลีกเลี่ยงการเอามือมาจับตา จมูกและปาก (องค์การอนามัยโลก, 2564)

3.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

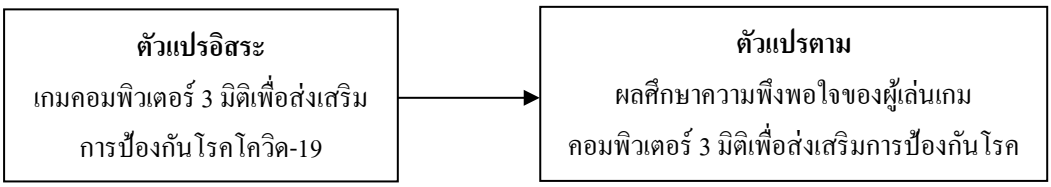
ศุภชัย เสาร์แบน และคณะ (2565) ได้พัฒนาเกมเพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19 เพื่อให้ผู้เล่นสามารถวางแผน คิดวิเคราะห์ หาวิธีในการทำให้ผ่านด่านในแต่ละภารกิจของระบบจำลองเหตุการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา การพัฒนาเกมใช้โปรแกรมอะโดบี โฟโตชอป (Adobe Photoshop) และอาร์พีจี เมกเกอร์ เอ็มวี (RPG Maker MV) ในการออกแบบตัวละครและฉาก และใช้ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ในการเขียนโปรแกรม ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจจากนักเรียนชั้นประถมศึกษา จำนวน 10 คน พบว่า ความพึงพอใจด้านการออกแบบอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.68 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.82 ความพึงพอใจด้านความรู้ความเข้าใจอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.28 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.79

อมรเทพ ตาลหอม และคณะ (2563) ได้การพัฒนาเกม 3 มิติจำลองการขับรถจักรยานยนต์ บนสภาพการจราจรเสมือนจริงของถนนภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และฝึกไหวพริบการหลบหลีกสิ่งกีดขวางในการแก้ไขสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากอุปสรรคต่าง ๆ บนท้องถนน การพัฒนาใช้โปรแกรมยูนิตี้ (Unity) สร้างเกม เป็นรถจักรยานยนต์ที่มีความสมจริงในการขับขี่ สามารถเพิ่ม-ลดความเร็ว สามารถใช้งานตามฟังก์ชันต่างๆ ได้ ผลการประเมินความพึงพอใจจากนักศึกษามหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 30 คน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.13 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.71

ปราโมทย์ สาราญวงศ์และคณะ (2560) ได้พัฒนาเกม 2 มิติเสริมความรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษาตอนต้น ระดับความยากของเกมมี 3 ระดับคือ ง่าย ปานกลาง และยาก โดยผู้เล่นจะต้องพาเด็กชายโก๊ะไปโรงเรียนและเก็บคำศัพท์อยู่ตามทางไปโรงเรียนไปด้วย การพัฒนาใช้โปรแกรมยูนิตี (Unity) สำหรับสร้างเกม โปรแกรมไมโครซอฟต์วิชวลสตูดิโอ 2015 (Microsoft Visual Studio 2015) เขียนโปรแกรม และใช้โปรแกรมอะโดบี โฟโตชอป ซีซี (Adobe Photoshop CC) ในการสร้างตัวละครและฉาก ผลการประเมินความพึงพอใจจากนักเรียนชั้นประถมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จำนวน 66 คน อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 3.97 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.78

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi - Experimental Research) โดยมีตัวแปรอิสระ จำนวน 1 ตัวแปร คือ เกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 ส่วนตัวแปรตาม มีจำนวน 1 ตัวแปร คือ ผลศึกษาความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi - Experimental Research) ทำทดลองแบบการทดลองกลุ่มเดียว

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

(1) กลุ่มประชากร คือ นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

(2) กลุ่มตัวอย่าง ทำการสุ่มเลือกโดยวิธีเฉพาะเจาะจง เลือกจากนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 30 คน สำหรับทดลองเล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

4.3 เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาผลการพัฒนาเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 ได้แก่

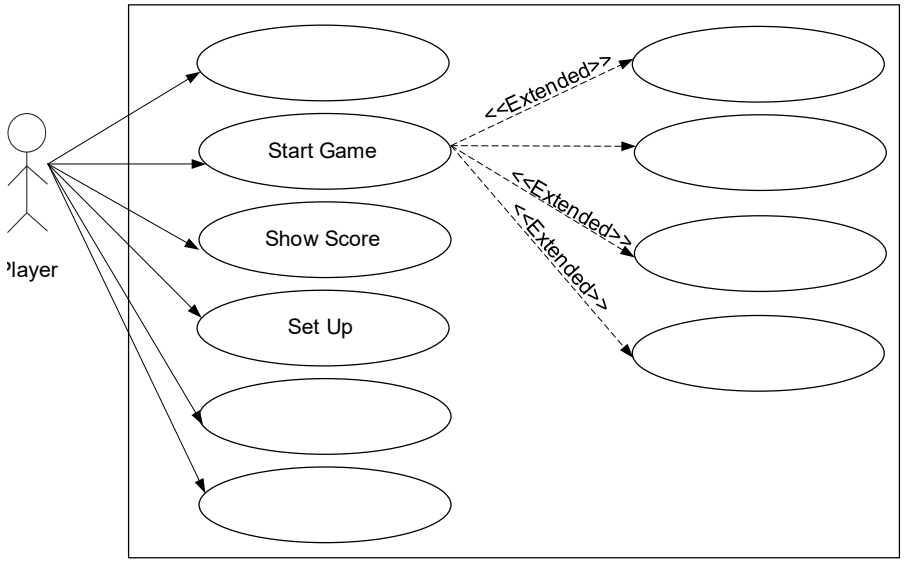
(1) เกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

(2) แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

4.4 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

4.4.1 การออกแบบการทำงานของเกมคอมพิวเตอร์

เกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถแสดงการทำงานของผู้ใช้ระบบ (User) และความสัมพันธ์กับระบบย่อย (Sub systems) ได้ด้วยแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) ดังแผนภาพที่ 2



แผนภาพที่ 2 แผนภาพยูสเคสแสดงการทำงานของเกม

4.4.2 การออกแบบโครงสร้างเนื้อหา

การออกแบบเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 มีรูปแบบเกมเป็นเกมประเภทยิง (Shooting Games) วิธีการเล่นของเกมแนวนี้ ผู้เล่นต้องคอยควบคุมตัวละครเพื่อต่อสู้กับศัตรูจำนวนมากโดยการยิงใส่ศัตรูในขณะที่หลบกระสุนที่ศัตรูโจมตีเข้ามา ศัตรูในที่นี้คือไวรัสโควิด-19 ซึ่งในการออกแบบคอมพิวเตอร์ 3 มิติ จะมีขอบเขตระบบ และกิจกรรมต่าง ๆ ภายในเกม มีรายละเอียดดังนี้

(1) เป็นเกมมุมมองบุคคลที่ 3 จากด้านบน และหน้าต่างเกมกว้าง 1920 พิกเซลและสูง 1080 พิกเซล

(2) อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมเกม จะใช้คีย์บอร์ดในการเล่นเกม ได้แก่ ปุ่ม A ขยับตัวละครผู้เล่นไปทางซ้าย ปุ่ม D ขยับตัวละครผู้เล่นไปทางขวา คลิกเมาส์ซ้ายเพื่อยิงกระสุนสีแดง คลิกเมาส์กลางเพื่อยิงกระสุนสีน้ำเงิน และคลิกเมาส์ขวาเพื่อยิงกระสุนสีเขียว

(3) สามารถหยุดเกมขณะเล่นได้

(4) สามารถดูคะแนนของผู้เล่นได้

(5) มีเพลงประกอบสามารถเปิด-ปิดเสียงได้จากเมนูตั้งค่า

(6) เมื่อค่าพลังชีวิตของผู้เล่นเหลือศูนย์จะทำให้เกมจบลง

(7) เมื่อเก็บไอเทม (Items) จะได้รับคุณสมบัติต่างๆ ตามไอเทมที่เก็บได้

(8) จะมีบอสไวรัสโควิด-19 (Boss COVID-19) โผล่มาในเกมระลอกสุดท้าย โดยบอสเชื้อไวรัสโควิด-19 จะมีพลังชีวิตสูงและหากถูกโจมตีจะลดพลังชีวิตมากกว่าปกติ เมื่อกำจัดบอสเชื้อไวรัสโควิด-19ได้จะปรากฏหน้าจอพิชิตเกม

(9) เมื่อศัตรูตายจะมีโอกาสสุ่มปล่อย (Drop) ไอเทม (Item) ชนิดต่างๆ เพื่อพัฒนาตัวละครผู้เล่นของผู้เล่น

4.4.3 การออกแบบตัวละครที่เป็นผู้เล่น

การออกแบบตัวละครที่เป็นผู้เล่น ดังตารางที่ 1 และข้อกำหนดของตัวละครที่เป็นผู้เล่น มีดังนี้

(1) ตัวละครผู้เล่นสามารถเคลื่อนที่ได้

(2) พลังชีวิตของตัวละครผู้เล่นจะลดลงเมื่อโดนกระสุนพลังของศัตรูหรือโดนศัตรูชนใส่

(3) มีพลังชีวิตอยู่ที่ 5 พลังชีวิต เมื่อโดนโจมตีหรือโดนศัตรูชนครบ 5 รอบจนพลังชีวิตเหลือศูนย์ ตัวละครผู้เล่นจะถูกทำลายและปรากฏหน้าจอเกมโอเวอร์ (Game Over)

(4) สามารถฟื้นฟูพลังชีวิตได้ โดยเก็บไอเทม (Item) ที่สุ่มปล่อย (Drop) เข้ามาในเกม โดยสามารถฟื้นฟูได้สูงสุดที่ 5 พลังชีวิต

ตารางที่ 1 ประเภทและความสามารถของตัวละครผู้เล่น

ประเภท	ลักษณะตัวละคร	ความสามารถ
Player		ยิงกระสุนพลังงานเป็นเส้นตรงทีละ 1 นัด โดยกระสุนมีสามรูปแบบคือ สีแดง สีน้ำเงิน และสีเขียว

4.4.4 การออกแบบตัวละครที่เป็นศัตรู

การออกแบบตัวละครที่เป็นศัตรู ดังตารางที่ 2 และข้อกำหนดของตัวละครที่เป็นศัตรู มีดังนี้

(1) บอสของศัตรูจะตัวใหญ่กว่า เลือดเยอะกว่า

(2) เมื่อพลังชีวิตของศัตรูเหลือ 0% ศัตรูจะตายและหายไปจากจอ

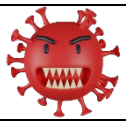
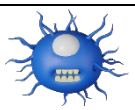
(3) เมื่อศัตรูตาย ผู้เล่นจะได้คะแนนจากการกำจัดศัตรู

(4) เมื่อศัตรูตายจะมีโอกาสที่จะสุ่มดรอปไอเทมต่างๆเพื่อพัฒนาตัวละครผู้เล่นของผู้เล่น

(5) พลังชีวิตของศัตรูจะลดลงจากการโดนโจมตีจากตัวละครผู้เล่นของผู้เล่น

(6) จำนวนศัตรูจะเพิ่มขึ้นในแต่ละรอบ

ตารางที่ 2 ประเภทและความสามารถของศัตรูแต่ละประเภท

ประเภทของศัตรู	ลักษณะตัวละคร	ความสามารถพิเศษ
VirusCovid-19_01		พลังชีวิตต่ำ ได้รับความเสียหายจากกระสุนสีแดง
VirusCovid-19_02		พลังชีวิตต่ำ ได้รับความเสียหายจากกระสุนสีเขียว
VirusCovid-19_03		พลังชีวิตต่ำ ได้รับความเสียหายจากกระสุนสีน้ำเงิน
BossVirusCoid-19_Red		พลังชีวิตสูง ได้รับความเสียหายจากกระสุนสีแดง
BossVirusCoid-19_Green		พลังชีวิตสูง ได้รับความเสียหายจากกระสุนเขียว
BossVirusCoid-19_Blue		พลังชีวิตสูง ได้รับความเสียหายจากกระสุนน้ำเงิน

4.4.5 การออกแบบไอเทม (Item)

การออกแบบไอเทม และข้อกำหนดของไอเทมมีดังนี้

(1) ไอเทมวัคซีน ใช้สำหรับพัฒนาตัวละครผู้เล่นของผู้เล่น โดยสามารถพัฒนาได้สูงสุดที่ระดับ 3

(2) ไอเทมหน้ากาก N95 ใช้สำหรับเป็นโล่ป้องกันตัวละครผู้เล่นของผู้เล่นจากการโดนกระสุนพลังงานหรือการชนของศัตรู โดยสามารถป้องกันได้ 1 ครั้ง

(3) ไอเทมยา ใช้สำหรับฟื้นฟูพลังชีวิตตัวละครผู้เล่นของผู้เล่น โดยฟื้นฟูครั้งละ 1 พลังชีวิต

ตารางที่ 3 แสดงประเภทและความสามารถของไอเทม

ประเภท	ลักษณะไอเท็ม	ความสามารถ
Vaccine		กำจัดมอนสเตอร์ทั้งหมด
N95_mask		ทำให้มอนสเตอร์เคลื่อนที่ช้าลง
Pill		ทำให้กระสุนสามารถยิงได้ทุกสี

4.5 การพัฒนาและดำเนินการ

สร้างเกมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมยูนิตี้ (Unity) ร่วมกับโปรแกรมเบลนเดอร์ (Blender) และภาษาซีชาร์ป (C#) ได้เกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 ที่มีหน้าจอทำงานดังแผนภาพที่ 3-5

แผนภาพที่ 3 หน้าจอเมนูหลัก และหน้าจอการให้ความรู้เกี่ยวกับโควิด-19

แผนภาพที่ 4 หน้าจอวิธีการเล่นเกม และหน้าจอปุ่มควบคุมของเกม

แผนภาพที่ 5 หน้าจอการเล่นเกม และหน้าจอสิ้นสุดเกม

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจของผู้เล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 ทางผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจที่สร้างขึ้น นำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 30 คน โดยใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ตามวิธีของลิเคิร์ท (Linkert) และใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis)

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD)

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยนำแบบสอบถามความพึงพอใจให้กลุ่มตัวอย่าง นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ จำนวน 30 คน ที่ทดลองเล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 และนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ได้ผลประเมินดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง ที่มีต่อการเล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19

ข้อที่	ข้อคำถาม	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
1.	ความพึงพอใจด้านเนื้อหา			
	1.1 มีการแนะนำวิธีการเล่นเกมก่อนเริ่มเกม	4.20	0.86	มาก
	1.2 เนื้อหาในเกมมีความน่าสนใจ	4.00	0.76	มาก
	1.3 ผู้เล่นได้รับความรู้หลังจากเล่นเกม	4.07	0.80	มาก
	1.4 เกมมีความท้าทาย	4.47	0.64	มาก
2.	ความพึงพอใจด้านการออกแบบส่วนติดต่อของผู้ใช้			
	2.1 ความสวยงามของภาพ	4.07	0.80	มาก
	2.2 เสียงดนตรีประกอบเข้ากับเกม	4.20	0.86	มาก
	2.3 เมนูการใช้งานเข้าใจง่าย	4.00	0.76	มาก
	รวม	4.14	0.78	มาก

6. อภิปรายผล

การจัดทำเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลเกี่ยวกับโรคไวรัสโควิด-19 มาใช้เพื่อสร้างเกม โดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาปรับใช้ในการทำงาน คือ แสดงความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด-19พร้อมกับต่อสู้กับมอนสเตอร์เพื่อให้ผู้เล่นได้ประโยชน์ทั้งความรู้และความเพลิดเพลินไปพร้อมกัน รวมไปถึงเกมที่สร้างยังสามารถช่วยส่งเสริมความรู้เรื่องโรคโควิด-19 จากการทดสอบเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 กับกลุ่มตัวอย่าง และวิเคราะห์ ผลประเมินความพึงพอใจในการเล่นเกมที่พัฒนาขึ้นมานี้ จากตารางที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่ทดลองเล่นเกมคอมพิวเตอร์ 3 มิติเพื่อส่งเสริมการป้องกันโรคโควิด-19 มีความพึงพอใจเฉลี่ยรวมทั้งหมดอยู่ในระดับมาก คิดเป็นคะแนนเฉลี่ย 4.14 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.78 โดยประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจเฉลี่ยมากกว่าประเด็นอื่น โดยมีค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ เกมมีความท้าทาย มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก คิดเป็นคะแนนเฉลี่ย 4.47 คะแนน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 ประเด็นที่กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจลำดับรองลงมาคือ มีการแนะนำวิธีการเล่นเกมก่อนเริ่มเกม และเสียงดนตรีประกอบเข้ากับเกม มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก คิดเป็นคะแนนเฉลี่ย 4.20 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.87 ซึ่งการเล่นเกม 3 มิติที่พัฒนาขึ้นมานี้ ทำให้ผู้เล่นเกมรู้สึกสนุกสนาน เพลิดเพลินไปกับภาพฉากที่สวยงาม และเสียงเพลงประกอบที่กระตุ้นความสนใจ และยังได้รับความรู้เกี่ยวกับโรคโควิด-19 ไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศุภชัย เสาร์แบน และคณะ (2565) ที่พบว่า การใช้เกม 2 มิติเพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19 ช่วยกระตุ้นการเรียนรู้ และดึงดูดความสนใจ ทำให้นักเรียนเกิดการเรียนรู้ไปพร้อมกับความสนุกสนาน และสอดคล้องกับงานวิจัยของอมรเทพ ตาลหอม และคณะ (2563) ที่มีการใช้เกม 3 มิติจำลองการขับรถจักรยานยนต์ บนสภาพการจราจรเสมือนจริงของถนนภายในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี มีความท้าทายให้ผู้เล่นเกมได้ใช้ไหวพริบในการแก้ปัญหา ซึ่งทำให้ผู้เล่นเกมรู้สึกสนุกสนาน เพลิดเพลินกับภาพฉากที่สวยงาม และปราโมทย์ สาราญวงศ์และคณะ (2560) ที่ได้พัฒนาเกม 2 มิติเสริมความรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษาตอนต้น พบว่าสามารถนำความรู้ที่ได้จากการเล่นเกมไปใช้ในชีวิตประจำวันได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ควรติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 10 (Windows 10) ขึ้นไป หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) มีความเร็วขั้นต่ำที่ 3.9 GHz ขึ้นไป และมีหน่วยประมวลผลกราฟฟิก (Graphics processing unit: GPU) NVIDIA GTX1050 ขึ้นไป

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรเพิ่มฟังก์ชัน (Function) การแสดงคะแนนโดยเชื่อมกับระบบฐานข้อมูล เพื่อเก็บข้อมูลสถิติคะแนน สามารถจัดอันดับคะแนน และแสดงสถิติของผู้เล่นแต่ละคนเปรียบเทียบกันได้

(2) การสร้างโมเดลตัวละครสำหรับใช้ในการพัฒนาเกมจำเป็นที่จะต้องมีการใช้กระดูกควบคุมแบบจำลองสามมิติ (Skeletal animation) เพื่อให้ตัวละครมีเคลื่อนไหวได้อย่างเป็นธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลอง

9. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมโรคกระทรวงสาธารณสุข. (2564). *สถานการณ์ผู้ติดเชื้อ COVID-19 อัพเดทรายวัน* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2565, จาก: https://ddc.moph.go.th/covid19-dashboard.

ฐานเศรษฐกิจ. (2565). *โควิด19 ยังเป็นโรคประจำถิ่นไม่ได้ แต่เป็นโรคติดต่ออันตราย เพราะอะไร* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2565, จาก: https://www.thansettakij.com/general-news/535994.

ปราโมทย์ สาราญวงศ์, วรกร พิมพาคุณ และ ไหมคา ตันติปทุม. (2560). การพัฒนาเกมสองมิติเสริมความรู้คำศัพท์ภาษาอังกฤษระดับประถมศึกษาตอนต้น. *หนังสือประมวบบทความการประชุมวิชาการระดับชาติการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม ครั้งที่ 3 ประจำปี 2560*, วันที่ 2-3 มีนาคม 2560 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, 1-6.

วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2565). *COVID-19 pandemic in Thailand* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2565, จาก: https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic_in_Thailand.

ศุภชัย เสาร์แบน, นฤดม ค่ำสว่าง, วรัญญา คุ้มพวง และพิณรัตน์ นุชโพธิ์. (2565). การพัฒนาเกมเพื่อส่งเสริมความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19. *วารสารวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม*, 3(3), 1-12.

องค์การอนามัยโลก. (2564). *คำแนะนำสำหรับประชาชนเกี่ยวกับเชื้อไวรัสโคโรนาสายพันธุ์ใหม่* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2565, จาก: https://www.who.int/thailand/emergencies/novel-coronavirus-2019/advice-for-public.

องค์การอนามัยโลก. (2564). *Q&A on COVID-19 (general)* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 4 มกราคม 2565, จาก: https://www.who.int/thailand/emergencies/novel-coronavirus-2019/q-a-on-covid-19/q-a-on-covid-19-general.

อมรเทพ ตาลหอม อนุสรณ์ บรรเทิง สมปอง เวฬุวนาธร และปิยะนันท์ พนากานต์. (2563). การพัฒนาเกมสามมิติจาลองการขับรถจักรยานยนต์ ด้วยเทคนิคแอสเซสสปอร์ตไบต์โปรคิต ณ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*, 22(1), 93-101.

พัฒนาอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือด้วยเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

DEVELOPING PHYSICAL THERAPY EQUIPMENT TO TREAT HAND MUSCLE WEAKNESS WITH THE INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY

นิมิตร ทักษวิทยาพงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: nimit.tu@spu.ac.th

พีระพล นิลพัด

สาขาวิชาวิศวกรรมมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pirapol.nil@spumail.net

จิโรจน์ จริตควร

สาขาวิชาวิศวกรรมมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: chirot.ch@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งหรือไอโอทีถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในบ้านเรือน และในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งประเทศไทยกำลังเข้าสู่ยุคของเทคโนโลยีตามที่รัฐบาลวางนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ไว้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญเพื่อให้สอดคล้องกับโลกที่กำลังหมุนเข้าสู่ยุคของเทคโนโลยีดังกล่าวเป็นที่ทราบกันว่ามีการใช้สมาร์ทโฟนกันอย่างแพร่หลายผู้วิจัยจึงนำความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีกับอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือเพื่อตรวจสอบคุณภาพการกายภาพบำบัดให้เป็นไปตามท่าทางที่ถูกต้องเหมาะสม และป้องกันอาการอื่นๆ ตามมาเช่น โรคนิ้วล็อก ปวดบริเวณโคนนิ้ว งอนิ้วสะดุดนิ้วติดเหยียดไม่ออก งอนิ้วไม่ได้หรืองอได้แล้วนิ้วติดเหยียดไม่ออก ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถทำงานร่วมกันกับสมาร์ทโฟน มีการควบคุมและอ่านสถานะการทำงานของทุกอุปกรณ์ในเครือข่ายไร้สายผ่านสมาร์ทโฟนได้โดยผู้ใช้สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้งานได้ด้วยตัวเอง ซึ่งในเบื้องต้นของการทดสอบอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือกับกลุ่มเป้าหมายที่เป็นผู้สูงอายุหรือผู้ที่มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือเป็นระยะเวลาสิบสี่วันผลปรากฏว่าผู้เข้าร่วมการทดสอบมีพัฒนาการของกล้ามเนื้อที่ดีขึ้นจากเดิม โดยใช้แรงบีบของมือเป็นตัวชี้วัด รวมถึงสามารถทำกายภาพบำบัดโดยไม่จำเป็นต้องมีนักกายภาพบำบัดคอยดูแลอย่างใกล้ชิด เข้ากับยุคแห่งเทคโนโลยีในปัจจุบัน และสามารถต่อยอดเพื่อนำไปสู่การเก็บข้อมูลคุณภาพของการกายภาพบำบัดให้กับนักกายภาพบำบัดหรือแพทย์ ได้ในอนาคต

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง, กายภาพบำบัด, เครือข่ายไร้สาย, กล้ามเนื้ออ่อนแรง

ABSTRACT

At present, the Internet of Things, or IoT is widely used in the home. and in industrial plants As well as Thailand is entering the era of technology as the government has set the Thailand 4. 0 policy, the researcher sees the importance of conforming to the world that is turning into the era of such technology. Therefore, the researcher has applied the advances in technology and the Internet of Things to apply to the physical therapy equipment to treat hand muscle weakness to check the quality of physical therapy according to the correct posture. and prevent other symptoms such as lock finger disease, pain in the base of the finger Fingers bent, stumbled, fingers stuck, unable to stretch. I can't bend my fingers or can't bend my fingers The researcher has designed the device to be able to work with smartphones. The operating status of all devices in the wireless network can be controlled and read through a smartphone, and the user can use the device himself. In which the preliminary testing of physiotherapy equipment to treat hand muscle weakness with a target group of elderly people or people with hand muscle weakness for fourteen days, the results showed that the participants showed improvements in their better muscles before by using the pressure of the hand as an indicator Including being able to do physical therapy without the need for a physical therapist to closely supervise in line with today's technology era and can be extended to lead to the collection of quality data of physical therapy for physical therapists or doctors in the future

Keywords: Internet of Things, Physical Therapy, Wireless Network, Muscle Weakness

1. บทนำ

ประเทศไทยในปัจจุบันมีผู้ป่วยจะเสียชีวิตหลังจากมีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง ในระยะเวลาประมาณ 2.5 ปี ซึ่งสาเหตุของการเสียชีวิตมักเกิดจากระบบหายใจล้มเหลวและการติดเชื้อในปอดอันเนื่องมาจากการสำลัก โรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง ALS ย่อมาจาก Amyotrophic Lateral Sclerosis ซึ่งไม่ใช่โรคของกล้ามเนื้อโดยตรง แต่เป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติของเซลล์ประสาทนำคำสั่ง แล้วส่งผลทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง เนื่องจากขาดเซลล์ประสาทนำคำสั่งมาควบคุม โดยที่เซลล์ประสาทนำคำสั่งเหล่านี้ค่อยๆ เกิดการเสื่อมและตายไปในที่สุด ซึ่งปัจจุบันยังไม่ทราบสาเหตุของการเกิดโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงที่ชัดเจน แต่พบว่าเกิดจากหลายเหตุปัจจัย เช่น ปัจจัยทางพันธุกรรม ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีการปนเปื้อนของสารพิษ โดยอายุเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของโรคอยู่ระหว่าง 60-65 ปี โอกาสที่จะพบโรค ALS ในคนอายุมากจึงมีมากกว่าในคนอายุน้อย โดยทั่วไปแล้วมักพบโรค ALS ในเพศหญิงมากกว่าเพศชายถึง 1.5 เท่า แต่มีโอกาสเสี่ยงน้อยมากที่จะเกิดโรคในรุ่นลูกรุ่นหลาน โดยวิธีการรักษาโรคกล้ามเนื้ออ่อนแรงมีหลายวิธี เช่น การรับประทานยาในกลุ่ม Cholinesterase Inhibitors การเปลี่ยนถ่ายพลาสม่า (Plasmapheresis) การบำบัดด้วยอิมมูโนโกลบูลิน (Intravenous Immunoglobulin) การฉีดยา Rituximab เข้าเส้นเลือด การผ่าตัดต่อมไทมัส และการทำกายภาพบำบัดกล้ามเนื้อ ดังนั้นผู้วิจัยจึงคิดค้น อุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ ที่สามารถใช้งานง่าย สามารถติดตามผลของการกายภาพบำบัด เก็บข้อมูลและสรุปผลการกายภาพบำบัด โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง รวมถึงสอดคล้องกับนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่สนับสนุนให้ประชาชน และผู้ประกอบการหันมาใช้เทคโนโลยีกันมากขึ้น ทั้งนี้การนำสมาร์ทโฟนมาใช้ในการดูข้อมูลการกายภาพบำบัดและผลลัพธ์ของการกายภาพบำบัด

1.1 อินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Internet of Things (IoT) คือ การที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ สามารถเชื่อมโยงหรือส่งข้อมูลถึงกันได้ด้วยอินเทอร์เน็ต โดยไม่ต้องป้อนข้อมูล การเชื่อมโยงนี้ง่ายจนทำให้เราสามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ ไปจนถึงการเชื่อมโยงการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเข้ากับการใช้งานอื่นๆ จนเกิดเป็นบรรดา Smart ต่างๆ ได้แก่ Smart Device, Smart Grid, Smart Home, Smart Network, Smart Intelligent Transportation ทั้งหลายที่เราเคยได้ยินนั่นเอง ซึ่งแตกต่างจากในอดีตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นเพียงสื่อกลางในการส่งและแสดงข้อมูลเท่านั้น

1.2 โรคนิ้วล็อค

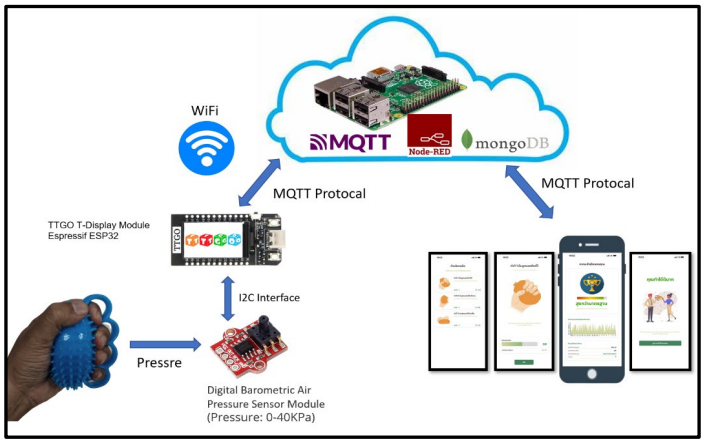
เป็นความผิดปกติของมือที่ไม่สามารถงอหรือเหยียดได้อย่างปกติ อาจเป็นนิ้วเดียวหรือหลายนิ้วภาวะนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลงที่ปลอกเอ็นบริเวณข้อโคนนิ้วหนาตัวขึ้น เอ็นบวม ทำให้ปลอกรัดเอ็นมากขึ้น มีสาเหตุมาจากอาจเกิดจากการใช้แรงงอนิ้วมากๆ หรือกำนิ้วแน่นมากๆ ทำให้เกิดการเสียดสีบริเวณปลอกหุ้มเอ็นมาก ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลง หรือการเสื่อมของเซลล์ร่วมด้วย พบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย และพบได้บ่อยร่วมกับโรคเบาหวาน รูมาตอยด์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ เพื่อตรวจสอบคุณภาพการกายภาพบำบัดให้เป็นไปตามท่าทางที่ถูกต้องเหมาะสม
2. นำอุปกรณ์อุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือไปทดสอบกับกลุ่มผู้สูงอายุหรือกลุ่มผู้มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง
3. ตรวจสอบวัดค่าและเก็บข้อมูลทั้งก่อนและหลังใช้อุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ เพื่อสรุปข้อมูลการทำกายภาพบำบัด

3. ขอบเขต

1. ออกแบบอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ แล้วแรงบีบของมือได้ตั้งแต่ 0-40 Kpa
2. อ่านข้อมูลจาก pressure sensor แล้วส่งข้อมูลให้กับ mobile application ผ่านทาง MQTT protocol [1]
3. แสดงข้อมูลการกายภาพบำบัดบนอุปกร์ เช่น แรงบีบของมือ จำนวนครั้งที่บีบมือ ระยะเวลาที่บีบมือ ท่าทางการกายภาพบำบัดกล้ามเนื้อบริเวณมือ

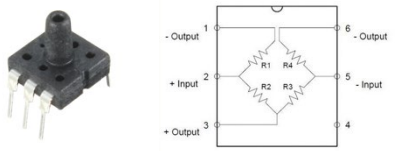


ภาพที่ 1 แผนผังระบบ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ พร้อมทั้งกำหนดรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์

การอ่านแรงบีบของลูกบอลสำหรับการกายภาพบำบัดกล้ามเนื้อบริเวณมือ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับค่าความกดอากาศ MPS20N0040D Pressure Module[2]



ภาพที่ 2 เซ็นเซอร์วัดความดันอากาศ

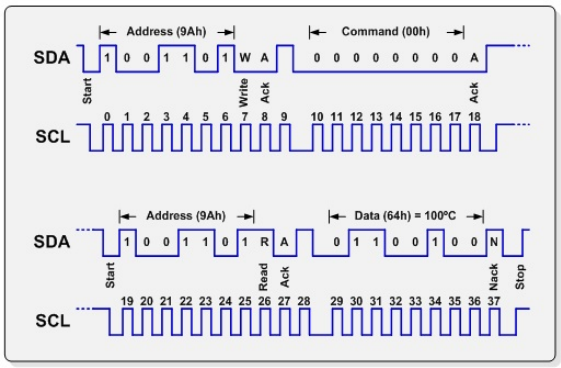
Reference	Data	Unit	Remark
Measuring pressure range	5.8	PSIG	40KPaG
Maximum overpressure capability	Three times the measurement range		
Power Supply	5	VDC	
Input impedance	4--6	KΩ	
Output Impedance	4--6	KΩ	
Operating Temperature	45	℃	-40°F--+185°F
Storage Temperature	85	℃	-40°F--+257°F
Contact	Clean, dry, non-corrosive gases		
Zero bias voltage	±25	mV	
Full scale output voltage	50--100	mV	
Bridge resistance	4--6	KΩ	
Linearity	±0.3	%F.S.	
Hysteresis	±0.7	%F.S.	
Bias Temperature Coefficient	±0.08	%F.S./℃	
Sensitivity temperature coefficient	-0.21	%F.S./℃	

ภาพที่ 3 ข้อมูลจำเพาะ

Specification:[3]

- Measuring medium: air
- Measuring range: 0-40kPa

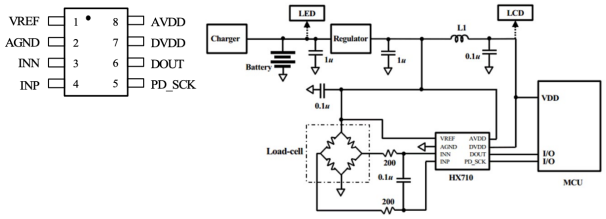
ซึ่งใช้ Analog to digital convertor (ADC) HX710B Datasheet – 24-Bit ADC, 8 Pin สำหรับอ่านค่าความต้านทานของตัว Sensor แล้วแปลงเป็นแรงดันทางไฟฟ้า และใช้วิธีการสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้ I2C protocol[4]



ภาพที่ 4 การสื่อสารแบบสื่อสารอนุกรม

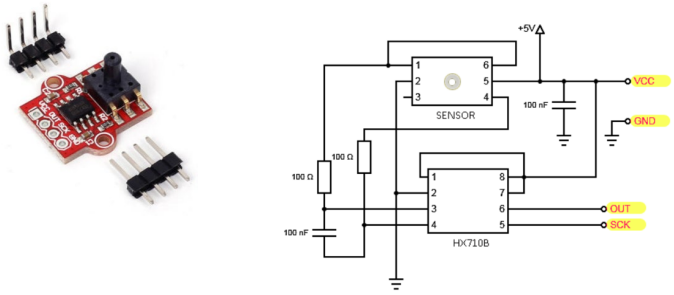
Features :

- On-chip temperature measurement (HX701A)
- DVDD and AVDD supply voltage difference measurement (HX701B)
- On-chip low noise amplifier with a gain of 128
- Selectable 10SPS or 40SPS output data rate
- Simultaneous 50 and 60Hz supply rejection
- Operation supply voltage range: 2.6 ~ 5.5V



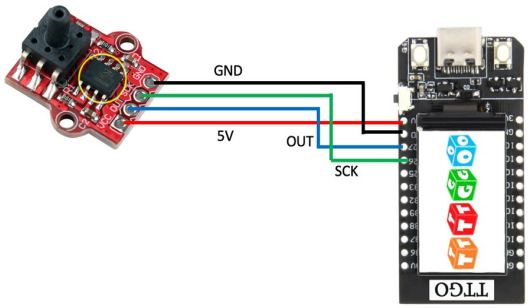
ภาพที่ 5 บล็อกไดอะแกรม

แผงผังวงจรเซ็นเซอร์วัดความกดอากาศ[6]



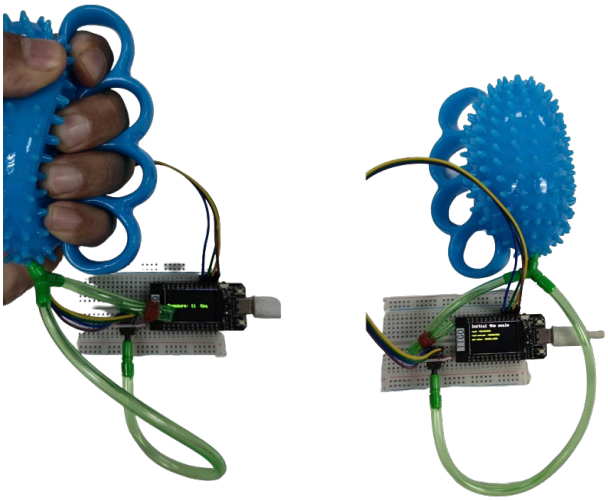
ภาพที่ 6 Pressure Sensor Module

นำไปยังอุปกรณ์วัดความดันอากาศ ที่เชื่อมต่อไปยัง TTGO T-Display ESP32 ผ่านรูปแบบการสื่อสาร I2C[7]



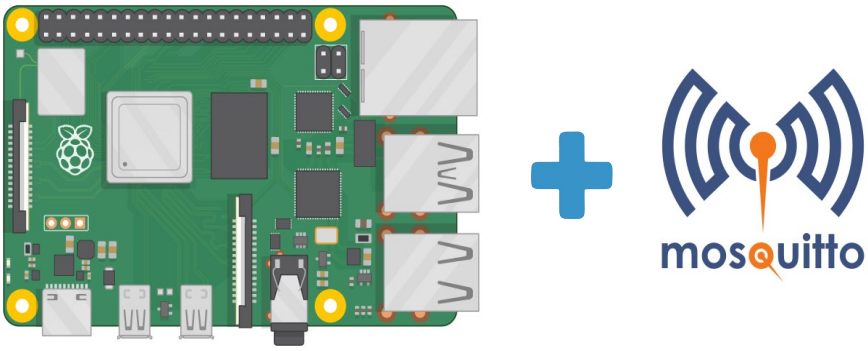
ภาพที่ 7 การเชื่อมต่อ sensor กับ MCU

นำอุปกรณ์มาต่อเข้ากับลูกบอลสำหรับการกายภาพบำบัดกล้ามเนื้อบริเวณมือ[8]



ภาพที่ 8 อุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณ

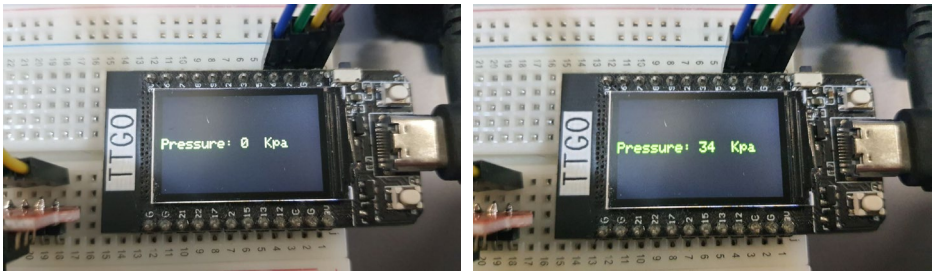
วิธีการส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล Message Queue Telemetry Transport: MQTT ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สายที่ติดตั้งให้กับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้บอร์ดของ Raspberry Pi



ภาพที่ 9 ติดตั้งโปรโตคอล MQTT บนคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก

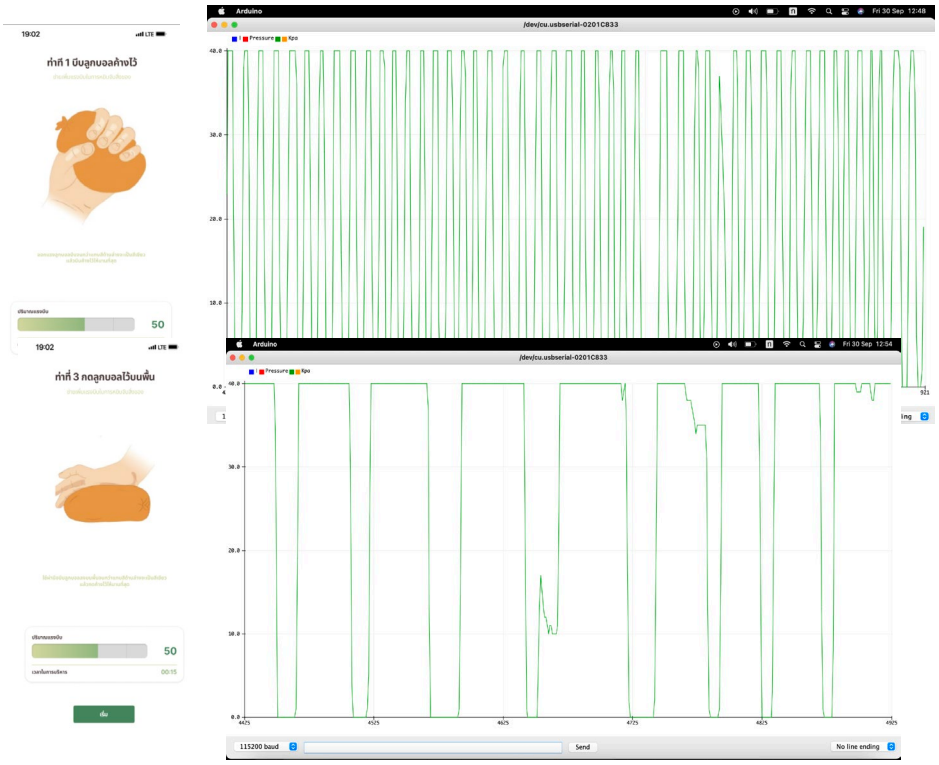
5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ สามารถอ่านค่าแรงบีบจากมือผ่าน pressure sensor[10] และส่งข้อมูลการอ่านไปยัง mobile application[11] ผ่านทางโปรโตคอล Message Queue Telemetry Transport: MQTT และจัดเก็บข้อมูลบน Mongo DB และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการกายภาพบำบัดกล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ นำไปปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำกายภาพบำบัดหรือพัฒนาการทำกายภาพบำบัด



ภาพที่ 10 แสดงค่าแรงบีบของมือที่อ่านได้บนหน้าจอ tft

นำข้อมูลที่อ่านได้มา เขียนกราฟเพื่อดูรูปแบบความแรงในการบีบมือจองแต่ละท่าทางการกายภาพบำบัด [11]

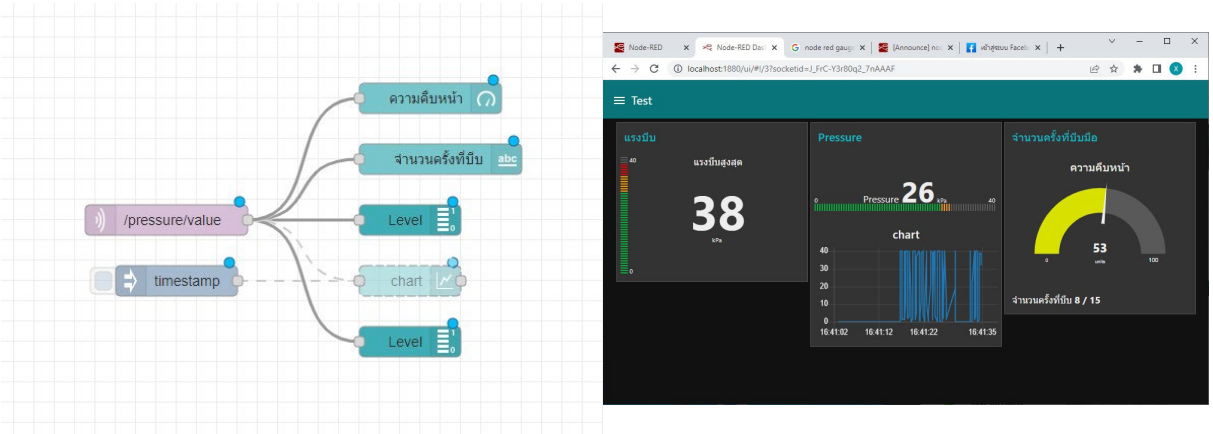


ภาพที่ 11 กราฟแสดงการกำมือแล้วปล่อยมือแบบเป็นจังหวะ

ส่งข้อมูลผ่านทางโปรโตคอล MQTT และใช้โปรแกรม MQTT BOX อ่านค่าที่ส่งขึ้นมาจากอุปกรณ์[12]

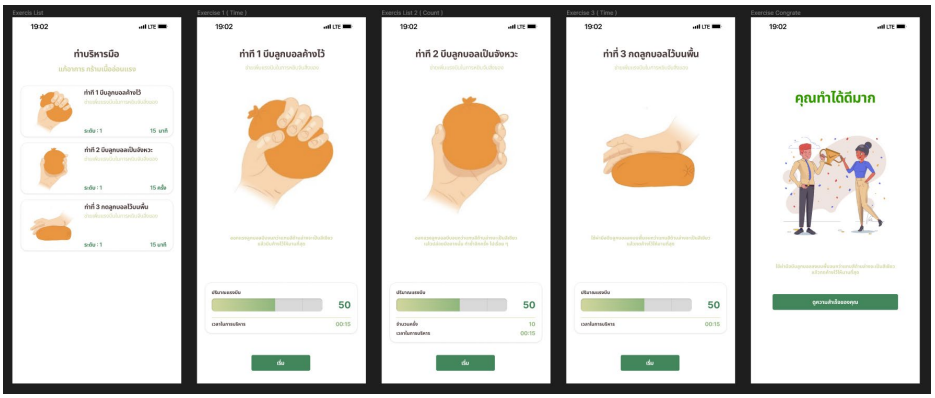
ภาพที่ 12 แสดงข้อมูลที่อุปกรณ์ส่งค่าผ่านโปรโตคอล MQTT

แสดงข้อมูลต่างๆของอุปกรณ์ผ่านโปรแกรม Node-RED[13]



ภาพที่ 13 Node red

แสดงข้อมูลต่างๆ ของอุปกรณ์ผ่าน mobile application[14]



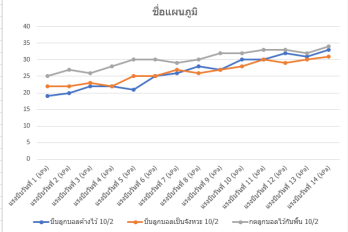
ภาพที่ 14 แอพพลิเคชั่น

6. อภิปรายผล

จากการวิจัยพบว่าสามารถพัฒนาอุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ ที่สามารถอ่านค่าแรงบีบจากมือและสามารถนำข้อมูลของกลุ่มผู้สูงอายุหรือผู้มีอาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือ โดยใช้วิธิการกายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือจากการฝึกกล้ามเนื้อมือกำมือ จากบัณฑิตกายภาพบำบัดและจัดกระดูก โดยแบ่งเป็นสองวิธีการทำกายภาพบำบัด ซึ่งท่าการกายภาพบำบัดท่าแรกจะเป็นการใช้มือกำลูกบอลกายภาพที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงบีบเข้าไป โดยบีบมือค้างไว้เป็นเวลาประมาณ 5 วินาทีแล้วปล่อย ทำเช่นนี้จำนวน 10 ครั้งต่อเซ็ตเป็นจำนวน 5 เซ็ต

และท่าการกายภาพบำบัดท่าที่สองให้วางลูกบอลไว้กับโต๊ะหรือพื้น แล้วใช้ฝ่ามือกดลูกบอลหรือคลึงลูกบอลค้างไว้เป็นเวลาประมาณ 10 วินาทีแล้วปล่อย ทำเช่นนี้จำนวน 10 ครั้งต่อเซ็ตเป็นจำนวนทั้งหมด 10 เซ็ต หลังจากทำกายภาพบำบัดผ่านไปเป็นเวลา 14 วันโดยได้ทำการเก็บข้อมูลแรงบีบของแต่ละท่าการกายภาพบำบัด โดยคำนวณออกมาเป็นค่าแรงบีบเฉลี่ยในของแต่ละวัน[15] สรุปได้ว่าผู้เข้าร่วมทดสอบมีกำลังบีบที่ดีขึ้น และสามารถเก็บข้อมูลในแต่ละครั้งที่ทำกายภาพเพื่อเป็นประวัติเพื่อให้นักกายภาพบำบัดหรือส่งข้อมูลให้แพทย์สามารถวิเคราะห์อาการได้ละเอียดมากขึ้น

ท่าการกายภาพ	จำนวนครั้ง/เซต	แรงบีบ วันที่ 1 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 2 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 3 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 4 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 5 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 6 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 7 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 8 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 9 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 10 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 11 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 12 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 13 (kPa)	แรงบีบ วันที่ 14 (kPa)
บีบลูกบอลค้างไว้	10/2	19	20	22	22	21	25	26	28	27	30	30	32	31	33
บีบลูกบอลเป็นจังหวะ	10/2	22	22	23	22	25	25	27	26	27	28	30	29	30	31
กดลูกบอลไว้กับพื้น	10/2	25	27	26	28	30	30	29	30	32	32	33	33	32	34



ภาพที่ 15 ข้อมูลแรงบีบเฉลี่ยของการกายภาพในแต่ละวัน

7. ข้อเสนอแนะ

1. ต้องศึกษาหาท่าทางการกายภาพบำบัดกล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกายภาพบำบัดในแต่ละส่วน

2. ต้องใช้อุปกรณ์กายภาพบำบัดรักษากล้ามเนื้ออ่อนแรงบริเวณมือที่ความละเอียดแม่นยำมากขึ้นเพื่ออ่านแรงบีบจากมือในขนาดแรงที่มากขึ้นอีก

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ดำเนินงานโดยได้รับความร่วมมือกลุ่มคณาจารย์และนักศึกษาคณะเทคโนโลยีสารสนเทศที่ร่วมทดสอบการพัฒนาระบบประเมินผลกายภาพบำบัดผู้ป่วยกล้ามเนื้อมืออ่อนแรง และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่คอยส่งเสริมและสนับสนุนให้คณาจารย์และนักศึกษา ได้นำความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศไปประยุกต์ใช้งานจริง

9. เอกสารอ้างอิง

Community staff writer. (2016). *nodered.org/blog*. *Node-RED.* p. 1. สืบค้น 13 สิงหาคม 2565. "MQTT with TLS support"

iot24hours. (2563). *MQTT Protocol*. สืบค้น 13 สิงหาคม 2565, จาก https://medium.com

Pobpad. (2022). *กล้ามเนื้ออ่อนแรง (Myasthenia Gravis: MG).* สืบค้น 5 สิงหาคม 2565, จาก https://www.pobpad.com/

ROHM CO., LTD. (2540). *Barometric Pressure Sensor*. สืบค้น 11 สิงหาคม 2565, จาก https://www.rohm.com/electronics-basics/sensor/barometric-pressure-sensor

SIKARIN. (2564). *โรคกล้ามเนื้ออ่อนแรง ALS.* สืบค้น 5 สิงหาคม 2565, จาก https://www.sikarin.com/

Wikipedia. (2022). *I2C (Inter-Integrated Circuit).* สืบค้น 13 สิงหาคม 2565, จาก https://en.wikipedia.org/wiki/I2C

Wikipedia. (2540). *Node-RED.* สืบค้น 13 สิงหาคม 2565, จาก https://en.wikipedia.org/wiki/Node-RED\

การพัฒนาออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายและวิถีชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในไทย

THE ONTOLOGY DEVELOPMENT OF EXERCISE METHOD FOR ALL PHYSICAL FITNESS CRITERIA AND LIFESTYLE OF ELDERLY POPULATION IN THAILAND

อานนท์ จันทร์เกษม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและนวัตกรรมดิจิทัล
คณะนวัตกรรม เทคโนโลยี และการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
E-mail: arnon.jankasem@gmail.com
สุรศักดิ์ มังสิงห์
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: surasak.mu@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ออนโทโลยี (Ontology) เป็นรูปแบบองค์ความรู้เฉพาะทาง (Domain Knowledge) ที่เกิดจากการพัฒนาขึ้นโดยวิศวกรความรู้ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเพื่อให้สามารถนำความรู้เฉพาะทางไปประยุกต์ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ ปัจจุบันประเทศไทยกำลังย่างเข้าสู่สังคมผูสูงอายุอย่างเต็มรูปแบบและการออกกำลังกายเป็นสิ่งจำเป็นในการดูแลสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุให้มีคุณภาพชิวิตที่ดี ออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุสามารถใช้เป็นฐานความรู้เพื่อพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ เช่น ระบบให้ความรู้ด้านการดูแลสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุให้มีคุณภาพ ระบบแนะนำการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาออนโทโลจีสำหรับวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกสมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย ซึ่งครอบคลุมวิธีการหลักในการออกกำลังกาย ได้แก่ (1) ท่ากายบริหาร (2) ทำกิจกรรมเป็นการออกำลังกาย การพัฒนาออนโทโลจีวิธีการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุในการศึกษาครั้งนี้ใช้เทคนิคเดลฟายเพื่อรวบรวมวิธีการออกกำลังกายที่เหมาะสมตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกาย และสร้างออนโทโลจี โดยใช้โปรแกรม Hozo-Ontology Editor ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญด้านออนโทโลจีพบว่าออนโทโลจีที่เสนอมีค่าความเหมาะสมในระดับดี

คำสำคัญ: ออนโทโลจี, วิธีการออกกำลังกาย, ผู้สูงอายุ

ABSTRACT

Ontology is a form of domain knowledge developed by knowledge engineers together with specialists in order to be able to apply specialized knowledge in computer programs. Currently, Thailand is entering a fully aged society and exercise is essential to maintain health for the elderly to have a good quality of life. Exercise ontology for the elderly can be used as a knowledge base to develop computer systems, such as a quality health care education system for the elderly, an exercise recommendation system for the elderly, etc. This research aims to develop ontology for exercise methods suitable for all physical fitness of the elderly population in Thailand. It covers three main methods of exercise: (1) exercise posture and (2) doing physical activities The development of exercise-method ontology for the elderly in this study used the Delphi technique to collect appropriate exercise regimens based on the opinions of fitness experts and to establish an ontology using Hozo-Ontology Editor program. An evaluation by ontology experts found that the proposed ontology had good suitability.

Keywords: Ontology, Exercise Method, Elderly

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ความต้องการในการดูแลตนเองของผู้สูงอายุมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรผู้สูงอายุของโลก ความต้องการเพิ่มขึ้นนี้เป็นตัวเร่งให้เกิดการพัฒนานวัตกรรมใหม่ๆ ในการดูแลผู้สูงอายุ เครื่องมืออำนวยความสะดวก การพัฒนาบริการด้านสุขภาพ งานวิจัยต่างๆ ไม่ว่าเป็นภูมิคุ้มกันโรคหรือยารักษาโรค ไปจนถึงการพัฒนาสื่อเพื่อการเรียนรู้ด้านสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุ องค์การสหประชาชาติแบ่งเป็นสังคมผู้สูงอายุออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับการก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Ageing society หรือ Aging society) ที่ประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 10 หรือมีประชากร 65 ปีขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 7 ของประชากรทั้งหมด 2) ระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) ที่ประชากรอายุ 65 ปีขึ้นไป อยู่ที่ร้อยละ 14 ของประชากรทั้งหมด และ 3) สังคมสูงวัยระดับสุดยอด (Super aged society) ที่มีประชากรอายุ 65 ปีขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 20 ของประชากรทั้งหมด

ประเทศไทยหลังสิ้นปี พ.ศ. 2564 มีจำนวนประชากรรวมทั้งสิ้น 66.16 ล้านคน โดยเป็นผู้สูงอายุถึง 12.11 ล้านคน คิดเป็นสัดส่วนของประชากรร้อยละ 18.3 โดยมีช่วงอายุ 60-69 ปี จำนวน 6.84 ล้านคน ช่วงอายุ 70-79 ปี 3.52 ล้านคน และช่วงอายุ 80 ปี ขึ้นไปถึง 1.75 ล้านคน ชัดเจนว่าประเทศได้ก้าวเข้าสู่ระดับสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged society) เป็นที่เรียบร้อย และอีกเพียง 0.17 ของร้อยละประชากรทั้งหมดประเทศก็จะเข้าสู่สังคมสูงวัยระดับสุดยอด (Super aged society) ด้วยอัตราที่ลดลงต่ำของเด็กเกิดใหม่ต่อปีมีจำนวนต่ำกว่า 0.6 ล้านคน คิดเป็นร้อยละ 0.18 ขณะที่ผู้สูงอายุในมีแต่เพิ่มจำนวนขึ้นนี้ ประมาณการว่าในปี พ.ศ. 2574 หรืออีก 8 ปีข้างหน้า ประเทศไทยจะเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุระดับสุดยอด ที่มีจำนวนผู้สูงอายุมากกว่าร้อยละ 28 ของประชากรทั้งหมด (ผลการสำรวจประชากรผู้สูงอายุ สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2557) อัตราประชากรนี้ส่งผลให้เกิดอัตราส่วนการพึ่งพิงในวัยสูงอายุที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรวัยแรงงานลดลง ยิ่งเป็นตัวเร่งให้เกิดการให้ความรู้ด้านการดูแลสุขภาพแก่ผู้สูงอายุในทุกช่วงวัยทำให้มีความพร้อมในการปรับตัวและพัฒนาคุณภาพชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในประเทศ

คุณภาพชีวิตที่ดีของผู้สูงอายุถือเป็นเรื่องสำคัญที่จะส่งผลในการลดอัตราการพึ่งพิงในวัยสูงอายุผ่านการให้ความรู้ด้านสุขภาพ และเป็นยุทธศาสตร์หนึ่งในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564) แผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2545-2564) และพระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 (สำนัก 2

เลขาธิการคณะรัฐมนตรี, 2557) แผนพัฒนานโยบายเหล่านี้ได้ผลักดันให้ทุกภาคส่วนมีบทบาทหรือมีส่วนร่วมในการพัฒนาและให้ความรู้ด้านการดูแลสุขภาพสำหรับผู้สูงอายุให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี

จากสถานการณ์และปัจจัยแวดล้อมทั้งหมดที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุ งานวิจัยนี้จึงเสนอการพัฒนาออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย โดยอาศัยเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 – 89 ปี สุพิตร สมาหิโต และคณะ (2556) เป็นเกณฑ์ชี้วัดระดับสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ กับวิธีการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุในไทยแต่ละเพศและช่วงอายุ รวมไปถึงพฤติกรรมและเกณฑ์สมรรถภาพที่แตกต่างแต่ละบุคคลที่เปลี่ยนแปลงไปตามสมรรถภาพทางกาย อานนท์ จันทร์เกษม และคณะ (2565) เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสังเคราะห์หาวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย เพื่อมุ่งสู่ระบบผู้ให้คำแนะนำที่อาศัยออนโทโลจีเกณฑ์วิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย มาแก้ไขปัญหาความยุ่งยากซับซ้อนในกระบวนการทดสอบสมรรถภาพทางกายเพื่อเข้าถึงผู้ให้คำปรึกษาด้านสุขภาพและวิธีการออกกำลังกายต่างๆ บนเกณฑ์การพิจารณาเฉพาะด้านที่เหมาะกับผู้สูงอายุ ให้เหลือแค่วิธีการออกกำลังกายที่สามารถปฏิบัติเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของประชากรผู้สูงอายุในไทยได้ทุกช่วงอายุของผู้สูงอายุที่สามารถออกกำลังกายได้ไม่ว่าจะมีสมรรถภาพทางกายอยู่ในเกณฑ์ และวิถีชีวิตแบบใดตามปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกกำลังกายทั้งด้านเวลาว่างและสถานที่ที่สะดวก รวมถึงสถานะของผู้ดูแลผู้สูงอายุ ตามวิถีชีวิตมาพิจรณาความเหมาะในการสังเคราะห์วิธีการออกกำลังกายนี้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกสมรรถภาพร่างกายและวิถีชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในไทย ให้สามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายของประชากรผู้สูงอายุในไทยได้

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อยู่บนฐานความรู้ของวิศวกรรมออนโทโลจี เกณฑ์สมรรถภาพทางกายกับปัจจัยที่มีผลต่อการออกกำลังกายของผู้สูงอายุไทย และวิธีการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุ รวมถึงงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Staab และ Studer (2009) ได้ให้ความหมายออนโทโลจีไว้ว่า เป็นองค์ความรู้ที่เป็นที่นิยมอย่างมากในการพัฒนาปัญญาประดิษฐ์ (AI) ที่ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคิดและช่วยในการตัดสินใจอย่างประสิทธิภาพ จากการกำหนดข้อมูลแบบสมการ (generalization) ความชำนาญเฉพาะทางหรือสาขาวิชา (specialization) ที่มีลำดับขั้นของแนวคิด ซึ่งออนโทโลจีจะเป็นชุดตัวแบบโดเมนขององค์ความรู้ (model a domain of knowledge) ที่ประกอบด้วยกลุ่มของสมาชิกของข้อมูลในรูปแบบ มโนทัศน์ (concept) หรือคลาส (classes) ที่สามารถเชื่อมโยงและอธิบายคุณลักษณะของข้อมูลด้วยคุณสมบัติ (properties)

โฮโซะ (Hozo-Ontology Editor) เป็นโปรแกรมของมหาวิทยาลัยโอซากา ประเทศญี่ปุ่น ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนในการพัฒนาและสร้างออนโทโลจี ซึ่งคุณลักษณะเด่นที่สำคัญของโปรแกรมโฮโซะคือ เครื่องมือต่างๆ ของโปรแกรมที่ใช้งานง่าย โดยโปรแกรมจะสร้างออนโทโลจีในรูปแบบของการถ่ายทอดความสัมพันธ์และการจัดเก็บองค์ความรู้ตามจุดประสงค์ในการสร้าง จึงทำให้เป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันในการสร้างและพัฒนาออนโทโลจี (มหาวิทยาลัยโอซากา ออนไลน์, 15 มกราคม 2557)

สุพิตร สมาหิโต และคณะ (2556) ได้วิจัยแบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 - 89 ปี เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ชี้วัดสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ และแบบทดสอบสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุเพื่อชี้วัดประเมินสมรรถภาพ 7 รายการของผู้สูงอายุ เอาไปอ้างอิงในการสร้างโปรแกรมออกกำลังกายในการแนะนำวิธีการออกกำลังกายแบบรวมๆ เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุให้ดีขึ้น โดยคำนึงถึงสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับสุขภาพทางกาย และทักษะที่ใช้ในชีวิตประจำวัน

อานนท์ จันทร์เกษม และคณะ (2565) ได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกวิธีพัฒนาสมรรถภาพทางกายสำหรับประชากรไทยในวัยสูงอายุบนฐานออนโทจี โดยระบบจะแนะนำวิธีการออกกำลังกายที่เหมาะกับเกณฑ์สมรรถภาพทางกายและปัจจัยต่างๆ และข้อมูลพฤติกรรมของผู้สูงอายุ โดยผู้วิจัยได้นำวิธีการออกกำลังกายและปัจจัยด้านพฤติกรรมนี้มาเป็นหลักในการประยุกต์

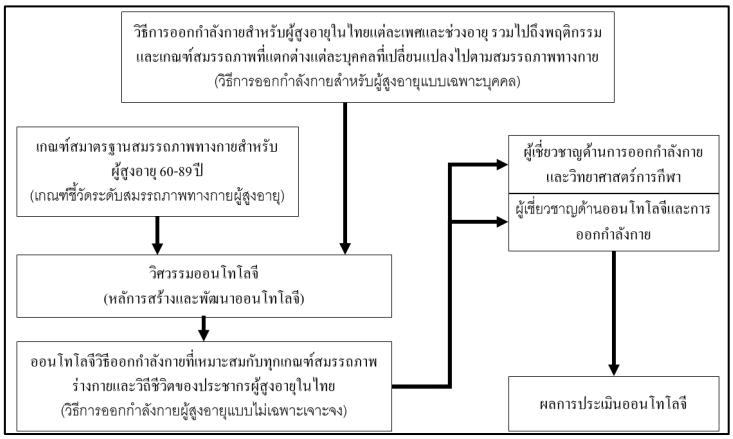
วราภรณ์ คำรศ และคณะ (2556) ได้ศึกษาพฤติกรรมและการเข้าถึงการออกกำลังกาย ของประชากรในเขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร เพื่อทราบถึงพฤติกรรมและการเข้าถึงการออกกำลังกาย รวมถึงปัจจัยที่มีผลต่อการออกกำลังกาย จากแผนภูมิที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย เพื่อสร้างกรอบแนวคิดทางผู้วิจัยใช้เป็นหลักในการศึกษาเรื่องพฤติกรรมของผู้สูงอายุในงานวิจัยฉบับนี้

จนิตนา ทองสุขนอก และคณะ (2551) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของผู้สูงอายุชมรมผู้สูงอายุ โรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับระดับความรู้ พฤติกรรม และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำ โดยในส่วนของตัวกรอบแนวคิดในการวิจัยได้กล่าวถึง ปัจจัยนำ ปัจจัยเอื้อ และปัจจัยเสริม 3 ทั้ง 3 นี้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้นำปัจจัยดังกล่าวทั้งหมดที่กล่าวมาทำการวิเคราะห์กรอบแนวคิดในการวิจัยฉบับนี้

Jonquet al. (2011) ได้ทำการวิจัยและสร้างออนโทโลจีเพื่อช่วยงานค้นหาข้อมูลทางกายแก่แพทย์ในการค้นหาเชิงความหมายของข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบ (format) ต่างๆ ที่เหมือนและแตกต่างกัน ให้บุคลากรทางการแพทย์ใช้ประโยชน์จากออนโทโลจีจากระบบดังกล่าว ในการค้นหาข้อมูลทางการแพทย์ได้ในขอบเขตที่กว้างและละเอียดขึ้น

Marut and Pornpimon (2007) ได้ทำการวิจัยเพื่อพัฒนาฐานออนโทโลจี ในการสร้างระบบสารสนเทศทางด้านสุขภาพที่เน้นในการออกแบบโครงสร้างออนโทโลจี จากการใช้โปรแกรมการจัดการที่เหมาะสม เพื่อสร้างออนโทโลจีแบบบูรณาการใช้เพื่ออำนวยความสะดวกของการสร้างโปรแกรมประยุกต์ใช้งานออนโทโลจี

3.2 กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการพัฒนาออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย

3.3 สมมติฐานการวิจัย

ออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย จะสามารถใช้ในการพัฒนาระบบแนะนำวิธีการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายผู้สูงอายุได้

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้อยู่ในประเภทการวิจัยประยุกต์ ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและวิทยาศาสตร์การกีฬา

4.2 ประชากรและตัวอย่าง

กลุ่มประชากรในการประเมินออนโทโลจีที่พัฒนาขึ้นนี้ มาจากผู้เชี่ยวชาญด้านออนโทโลจี และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายและวิทยาศาสตร์การกีฬา โดยกลุ่มตัวอย่างที่คัดเลือกมาจากประชากรดังกล่าวด้วยวิธีการเจาะจง (Purposive Sampling) มาจาก มหาวิทยาลัยรัตนบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ รวมทั้งสิ้นจำนวน 3 คน

4.3 เครื่องมือวิจัย

- รายการอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ได้แก่ คอมพิวเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง สำหรับติดตั้งซอฟต์แวร์ระบบผู้แนะนำ โดยมีรายละเอียดคือ หน่วยประมวลผลกลาง อินเทล คอร์ i7-4770 หน่วยความจำหลัก 8 จิกะไบต์ ดูอัลแชนแนล DDR3 1600 เมกกะเฮิด ฮาร์ดดิสก์ 1 เทราไบต์
- รายการซอฟต์แวร์ที่ใช้ได้แก่ ระบบปฏิบัติการ วินโดวส์ 11, ไมโครซอฟท์ ออฟฟิศ 365, กูเกิลฟอร์ม และโฮโซะ

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- เกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 – 89 ปี สุพิตร สมาหิโต และคณะ (2556) เป็นเกณฑ์ชี้วัดระดับสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ
- วิธีการออกกำลังกายสำหรับผู้สูงอายุในไทยแต่ละเพศและช่วงอายุ รวมไปถึงพฤติกรรมและเกณฑ์สมรรถภาพที่แตกต่างแต่ละบุคคลที่เปลี่ยนแปลงไปตามสมรรถภาพทางกาย อานนท์ จันทร์เกษม และคณะ (2565) เป็นข้อมูลอ้างอิงในการสังเคราะห์หาวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย

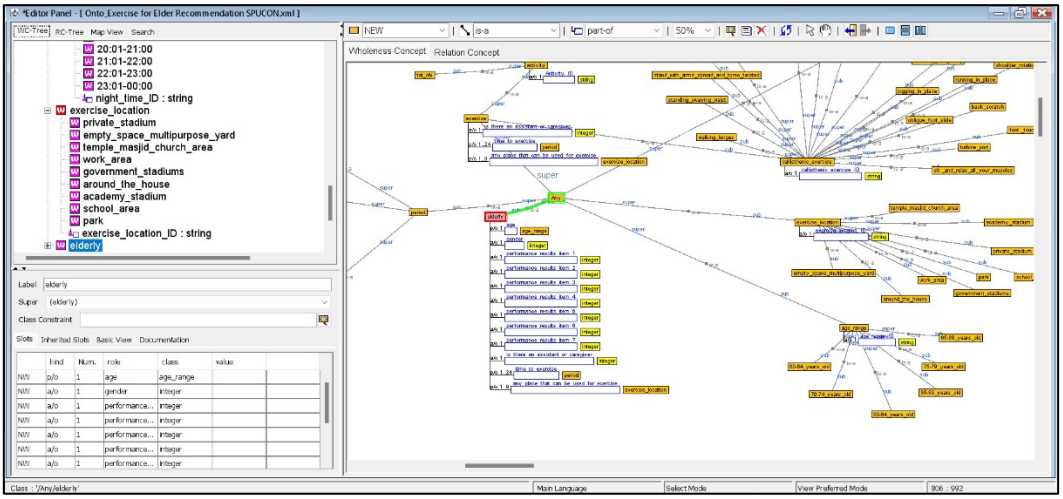
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่อ้างอิงจะถูกวิเคราะห์ตามหลักที่ผู้เชี่ยวชาญกำหนดโดยคำนึงถึงเกณฑ์ขั้นต่ำที่สุดของเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 – 89 ปี ของประชากรไทยผู้สูงอายุ จากวิธีการออกกำลังกายทั้ง 3 แบบ ได้แก่ (1) ท่ากายบริหาร, (2) กิจกรรมเพื่อการออกกำลังกาย และ (3) กีฬา นำวิธีการที่ได้มาระบุความเหมาะสมตามปัจจัยที่ส่งผลการออกกำลังกายตามวิถีชีวิต ได้แก่ (1) เวลา, (2) สถานที่ออกกำลังกาย และ (3) สถานะผู้ดูแลผู้สูงอายุ ว่ามีหรือไม่มีผู้ดูแล ก่อนนำข้อมูลสรุปที่ได้ไปสร้างเป็นออนโทโลจีต่อไป โดยตัวออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทยที่พัฒนาเสร็จแล้วต้องได้รับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.6 การออกแบบและสร้างออนโทโลจี

การออกแบบจะคำนึงถึงหลักวิศวกรรมออนโทโลจี ตามหลักในการพัฒนาออนโทโลยีเรียกว่า กระบวนการเมทาความรู้ (Knowledge Meta Process) มี 5 ขั้นตอน คือ (1) การศึกษาความเป็นไปได้, (2) การเริ่ม

พัฒนา โดยออนโทโลยีมีองค์ประกอบหลักคือขอบเขต (Domain) มโนทัศน์ (Concept) หรือคลาส(Classes) ที่มีคุณสมบัติ (Properties) ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์ (Relations) และเงื่อนไข (Constrains) ระหว่างคลาสเพื่อใช้อนุมาน (Inference) หรือแปลความหมาย (Interpretation) ได้โดยคอมพิวเตอร์ (3) การแบ่งละเอียด, (4) การประเมินออนโทโลยีที่สร้างขึ้น และขั้นตอนที่ (5) การประยุกต์ใช้และวิวัฒนาการเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้ตามประสงค์เฉพาะทางต่างๆ



แผนภาพที่ 2 ขั้นการพัฒนาออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายของประชากรผู้สูงอายุในไทย ในโปรแกรม Hozo-Ontology Editor

5. ผลการวิจัย

จากแผนภาพที่ 2 ออนโทโลจีวิธีการออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกช่วงอายุและวิถีชีวิตของผู้สูงอายุในไทย มีจำนวนคลาสรวมทั้งสิ้นคือ 78 คลาส ประกอบด้วยคลาสต่างๆ ที่เป็นวิธีออกกำลังกาย 2 ประเภทที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิคเดลฟายคือ

- คลาสการออกกำลังกาย ที่ประกอบด้วย 2 คลาสลูกคือ คลาส callisthenic_exercise : ท่ากายบริหาร และ คลาส activity : กิจกรรมเพื่อการออกกำลังกาย ทั้งหมดประกอบด้วยคลาสวิธีออกกำลังกายย่อยๆ จำนวน 28 คลาส

โดยพบว่าการออกกำลังกายโดยวิธีการเล่นกีฬา ไม่มีวิธีการใดที่ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกกำลังกายแนะนำว่าเหมาะสมกับทุกเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 – 89 ปี แม้จะเป็นเกณฑ์ขั้นต่ำสุด จึงไม่มีสร้างคลาส sport : กีฬา ขึ้นมา

คลาสในส่วนของเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 – 89 ปี ที่ใช้เป็นเกณฑ์ชี้วัดระดับสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุ เพื่อใช้ในกรณีที่ผู้สูงอายุต้องการชี้วัดเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายของตน เพื่อยกระดับเวลาในการออกกำลังกายให้เพิ่มขึ้น หรือลดระดับการออกกำลังกายให้น้อยลงตามอายุที่มากขึ้น

- คลาส elderly :ผู้สูงอายุที่ใช้ในการเก็บค่าคุณสมบัติของผู้สูงอายุที่จำเป็นในระบบ เช่น age : อายุ, gender : เพศสภาพ, performance_results_item_1-7 : ผลสมรรถภาพทั้ง 1-7 รายการ เป็นต้น

คลาสต่างๆ ในส่วนของวิถีชีวิตที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายจากการใช้ชีวิตในสังคม ที่มีผลต่อวิธีการออกกำลังกายตามวิถีชีวิตที่เปลี่ยนไปตามสถานที่และเวลาที่เหมาะสม ประกอบด้วยประกอบด้วย 3 คลาสหลักดังนี้

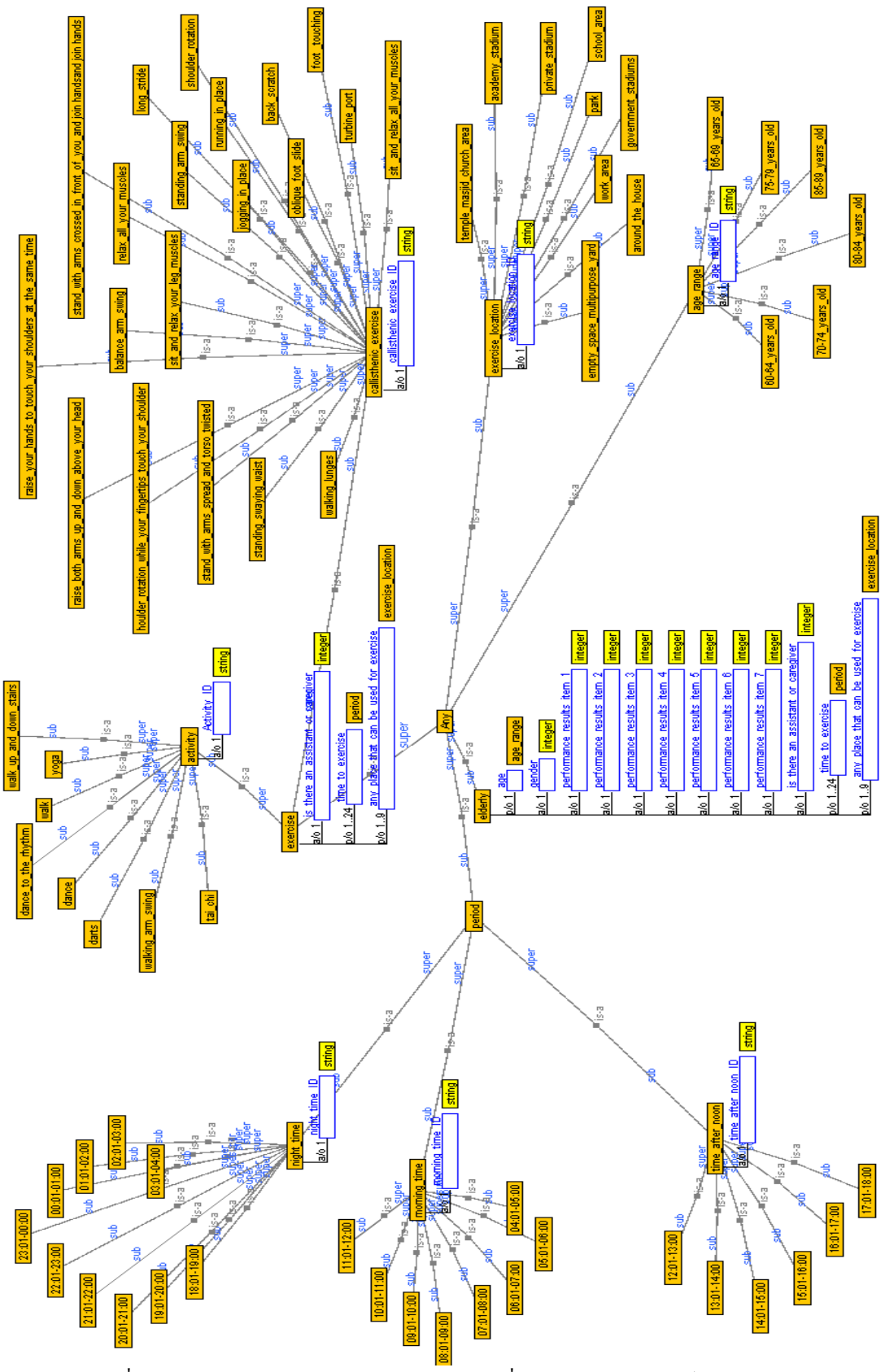
- คลาส exercise_location : สถานที่ออกกำลังกาย ประกอบด้วย 9 คลาสสถานที่ เช่น around_the_house : คลาสบริเวณบ้าน, park : คลาสสวนสาธารณะ, work_area : คลาสบริเวณที่ทำงาน, private_stadium : คลาสสนามกีฬาของเอกชน เป็นต้น

- คลาส age_range : ช่วงอายุ ประกอบด้วย 6 คลาส คือ คลาส 60-64_years_old : 60-64 ปี ไปจนถึงคลาส 85-89_years_old : 85-89 ปี

- คลาส period : ช่วงเวลา ประกอบด้วย 3 คลาสลูก ได้แก่ คลาส morning_time : ช่วงเช้า คลาส time_after_noon : ช่วงสาย และคลาส night_time : ช่วงกลางคืน ทั้งหมดประกอบด้วยคลาสวิธีออกกำลังกายย่อยๆ จำนวน 24 คลาส

ตารางที่ 1 ผลการประเมินออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายและวิถีชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในไทย

รายการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
1. ความเหมาะสมการจัดกลุ่มคลาส	4.33	0.58
2. ความครอบคลุมการเก็บความรู้	5.00	0.00
3. ความเหมาะสมของชื่อคลาส	4.33	0.58
4. ความเหมาะสมของลำดับคลาส	4.67	0.58
5.ความเหมาะสมของคุณสมบัติคลาส	4.67	0.58
6. ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส	4.33	0.00
7. ชื่อความสัมพันธ์เข้าใจง่าย	5.00	0.00
8. ชนิดข้อมูลมีความเหมาะสม	5.00	0.00
9. เนื้อหาออนโทโลจีมีความถูต้อง	4.67	0.58
10. ภาพรวมเหมาะสม	4.67	0.58
เฉลี่ย	4.63	0.35



แผนภาพที่ 3 โครงสร้างของออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกาย และวิถีชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในไทย

6. อภิปรายผล

ผลประเมินออนโทโลจีที่พัฒนาขึ้นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญดังตารางที่ 1 พบว่าเกณฑ์ทั้ง 10 ข้อและภาพรวมของวิธีการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุอยู่ในเกณฑ์ดีมาก จากค่าเฉลี่ย 4.67 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.35 โดยพบว่าในรายการประเมินเรื่อง ความครอบคุมการเก็บความรู้ และชนิดข้อมูลมีความเหมาะสม ได้คะแนนเฉลี่ย 5.00 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 สมารถพิจารณาได้ว่าข้อมูลที่ใช้มีความครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมดที่ใช้ในการการพัฒนาออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายและวิถีชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในไทยในงานวิจัยครั้งนี้ แต่พบว่า ในรายการประเมินที่ 1. ความเหมาะสมการจัดกลุ่มคลาส ได้คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.33 เท่ากับรายการที่ 3. ความเหมาะสมของชื่อคลาส และรายการที่ 6. ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส โดยพบว่าการตั้งชื่อคลาสท่ากายบริหารบางท่าไม่สามารถหาคำจำกัดความที่ชัดเจนในรูปแบบของชื่อเรียกเฉพาะทางได้ และการจัดกลุ่มที่มีลำดับชั้นที่ไม่ละเอียดเท่าที่ควร เช่นควรแบ่งท่ากายบริหารที่เป็น คลาสท่ายืน และคลาสท่านั่ง ให้แยกออกจากกัน ออนโทโลจีวิธีออกกำลังกายที่เหมาะสมกับทุกเกณฑ์สมรรถภาพร่างกายและวิถีชีวิตของประชากรผู้สูงอายุในไทยในงานวิจัยนี้มีความง่ายต่อการเข้าใจในเชิงภาพรวมและมีความครอบคลุมการเก็บความรู้ที่เฉพาะเจาะจงเหมาะสมกับความต้องการในการนำไปใช้งานต่อยอดจากลำดับชั้นของคลาสวิธีการออกกำลังกายมีคลาสย่อยในปริมาณไม่มาก แต่ตัวความยืดหยุ่นในการออกแบบที่มุ่งหวังการต่อยอดเพื่อการพัฒนาในอนาคตที่จะใช้เป็นทางเลือกจากวิธีการออกกำลังกายนี้เพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุในกรณีต่างๆ และปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ได้ ก็จะมีความสะดวกในการจัดกลุ่มคลาสแยกย่อยเป็นขั้นลำดับมากขึ้นดังที่กล่าวข้างต้นเพื่อการนำออนโทโลจีไปใช้ในงานแบบอื่นๆ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การนำออนโทโลจีไปใช้งานต่อยอดเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายของผู้สูงอายุในกรณีต่างๆ ร่วมกับปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการออกกำลังกายของผู้สูงอายุ จากการเพิ่มลำดับชั้นของคลาสวิธีการออกกำลังกาย และปัจจัยต่างๆ ให้มีคลาสย่อยระดับชั้นของคลาสที่ซับซ้อนมากขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

แนวทางการทำวิจัยต่อไปคือ การสร้างออนโทโลจีวิธีการออกกำลังกายเพื่อพัฒนาสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้ป่วยหรือผู้พิการ ตามอาการของโรคต่างๆ เช่น กล้ามเนื้ออ่อนแรงเฉพาะส่วน หรือผู้มีความบกพร่องทางระบบทางเดินหายใจที่สามารถออกกำลังกายได้ตามคำแนะนำของแพทย์ รวมการนำออนโทโลจีไปพัฒนาเป็นระบบผู้ให้คำแนะนำในการออกกำลังกาย เพื่อการพัฒนาสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้ป่วยหรือผู้พิการ ตามอาการของโรคต่างๆ ต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

กรมการปกครอง. ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. สำนักงานปลัดกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2557). *ประชากรสูงอายุไทย: ปัจจุบันและอนาคต.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานปลัดกระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์

กรมกิจการผู้สูงอายุ. (2564). *ลักษณะของสังคมผู้สูงอายุ.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2565, จาก: https://www.dop.go.th/th/know/15/926.

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2546). *พระราชบัญญัติผู้สูงอายุ พ.ศ. 2546 (ฉบับแก้ไข พ.ศ. 2553).* พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพมหานคร: สำนักส่งเสริมและพิทักษ์ผู้สูงอายุ (สทส.)

กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์. (2552). *แผนผู้สูงอายุแห่งชาติ ฉบับที่ 2 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ (พ.ศ.2545-2564) 1.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: คณะกรรมการผู้สูงอายุแห่งชาติ.

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2557). *รายงานการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานสถิติแห่งชาติ.

สำนักนายกรัฐมนตรี. (2560-2564). *แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่สิบสอง. พิมพ์ครั้งที่ 1.* กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.

ตวงพร กตัญญุตานนท์, ฐานิดา แป้นสมบุญ, จันจิรา จินดามณี, พิลัมภา รุ่งเรือง, มณีรัตน์ เกลี้ยงเกลา, พรนภา หอมจันทร์ และ อิงอร อินทคีรี. (2562). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมทางกายของผู้สูงอายุหมู่บ้านแห่งหนึ่ง ในตำบลบางปลา อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ. *วารสาร มฉก. วิชาการ, 1*(23), 359–368.

มหาวิทยาลัยโอซากา (2557). *โปรแกรม Hozo-Ontology Editor.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2565, จาก: https://www.hozo.jp.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2557). *สังคม ผู้สูงอายุ : นัยต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ.* ค้นเมื่อ 25 กันยายน 2565, จาก http://www.stou.ac.th/stouonling/lom/data/sec/Lom12/05-01 html.

วราภรณ์ คำรศ, ชนิดา มัททวางกูร และ ชัยสิทธิ์ ทันศึก. (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการออกกำลังกายของกลุ่มตัวอย่างในเขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร, *Chula Med Bull, 1*(4), 359–368.

สุพิตร สมาหิโต และคณะ. (2556). *แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐานสมรรถภาพทางกายสำหรับผู้สูงอายุ 60 - 89 ปี.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: กรมพลศึกษา

อานนท์ จันทร์เกษม, สุรศักดิ์ มังสิงห์ และ เทพฤทธิ์ บัณฑิตพัฒนาวงศ์. (2565). ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการเลือกวิธีพัฒนาสมรรถภาพทางกายสำหรับประชากรไทยในวัยสูงอายุบนฐานออนโทยี. *วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือม 2565 (The Journal of KMUTNB,2022).* หน้า 1-13 (เผยแพร่ออนไลน์ 4 สิงหาคม 2565).

Jonquet, C., LePendu, P., Falconer, S., Coulet, A., Noy, N. F., Musen, M. A., & Shah, N. H. (2011). NCBO Resource Index: Ontology-based search and mining of biomedical resources. *Journal of Web Semantics, 9*(3), 316-324.

Marut Buranarach and Pornpimon Palingoon. (2007). Development of an Ontology-based Health Information System using Integrated Ontology Management Framework. *International Conference on Semantic Web & Web Services,* USA: 85-90.

Y. Sure, S. Staab, and R. Studer. (2009). Handbook on Ontologies, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 20-358, pp. 712-796.

การวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล

CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE RISK ANALYSIS BY DATA MINING TECHNIQUES

สิรินดา พิศาลนรเดช, ประศาสตร์ บุญสนอง

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sirindap62@nu.ac.th, prasartb@nu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ซึ่งใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมในการเปรียบเทียบเพื่อหาประสิทธิภาพโดยการจำแนกประเภทข้อมูล และขั้นตอนวิธีที่เลือกใช้ได้แก่ J48 และ Multilayer Perceptron ซึ่งเลือกวิธีทดสอบประสิทธิภาพด้วย Cross-validation Folds แบ่งข้อมูลเป็น 10 ส่วน และ 5 ส่วน และ Percentage Split แบ่งข้อมูลเป็น 66%, 60%, 45%, 30% ผลจากการวิจัยพบว่าแบบจำลองขั้นตอนวิธี J48 วิธีทดสอบประสิทธิภาพด้วย Percentage Split 45 มีค่าประสิทธิภาพจากแบบจำลองสูงสุดถึง 95.06% และแบบจำลองได้กฎออกมาจำนวน 8 กฎ หลังจากนั้นนำแบบจำลองที่ได้ไปสร้างเป็นโปรแกรมประยุกต์เว็บเพื่อคัดกรองความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังเพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไปได้เข้ามาตรวจสุขภาพด้วยตนเอง

คำสำคัญ: การทำเหมืองข้อมูล, โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

ABSTRACT

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) risk analysis by data mining techniques the objective of this study was to develop a model for chronic obstructive pulmonary disease The decision tree technique and the neural network technique were used to compare efficiency by data classification, and the selected algorithms were J48 and Multilayer Perceptron. which also chooses the test method for performance Cross-validation Folds divide data into 10-folds and 5-folds, and Percentage Split divides data into 66%, 60%, 45%, and 30%. The results showed that the J48 algorithm model, using the Percentage Split 45 performance test method, has a maximum model efficiency of 95.06% and the model has 8 rules. After that, the model was developed into a web application to screen for the risk of COPD for general users to check their health by themselves.

Keywords: Data Mining Techniques, Chronic Obstructive Pulmonary Disease

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังเป็นโรคระบบทางเดินหายใจที่พบมากในประเทศไทยและเป็นปัญหาที่สำคัญทางด้านสาธารณสุขในแต่ละปี ซึ่งโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังจัดอยู่ในอันดับที่ 6 ของประเทศ โดยผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังมีจำนวนมากกว่า 1.5 ล้านคน และค่าใช้จ่ายในการรักษาสูงกว่า 12 หมื่นล้านบาทต่อปี ทำให้เกิดเป็นภาระค่าใช้จ่ายของประเทศจำนวนมาก ตลอดจนเกิดผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตและการมีคุณภาพชีวิตที่ดีของผู้ป่วย ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังได้แก่ มลพิษทางอากาศและการสูบบุหรี่ โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศในพื้นที่ทั่วไป มักจะพบควันที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะเป็นจำนวนมากตามท้องถนนและประกอบกับมีการก่อสร้างที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง ยิ่งปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กมากขึ้นจะทำให้มลพิษได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีเรื่องการสูบบุหรี่ของคนบางกลุ่ม และถึงแม้ผู้ที่ไม่ได้สูบแต่อยู่ใกล้ชิดผู้ที่สูบบุหรี่ก็มีประมาณ 20% ที่ส่งผลให้เกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังอีกด้วย

ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาของผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังที่เพิ่มขึ้นในทุกๆปี ทำให้โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังนั้นมีความสำคัญอย่างมากและไม่ควรมองข้ามการกระทำ ที่อาจจะส่งผลให้โรคได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางสำหรับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อเป็นโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โดยการนำเทคนิคเหมืองข้อมูลมาประยุกต์ใช้ สร้างแบบจำลองการเรียนรู้ เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญ และเปรียบเทียบการทำเหมืองข้อมูลเกี่ยวกับต้นไม้ตัดสินใจและโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อนำมาพยากรณ์ความเสี่ยงที่จะเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง และเพื่อให้สถาบันการแพทย์สามารถเข้าถึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์มาวิเคราะห์วินิจฉัยโรคด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การทำวิจัยเรื่องการวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล

3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดเกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ (2560) ได้กล่าวว่า โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง เป็นกลุ่มของโรคปอดอักเสบเรื้อรังที่พบได้บ่อยและเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตเป็นอันดับต้น ๆ ของประชากรในประเทศไทย ลักษณะสำคัญของโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง คือ หลอดลม เนื้อปอด และหลอดเลือดปอดเกิดการอักเสบเสียหายเนื่องจากได้รับแก๊สหรือสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองเป็นเวลานาน ส่งผลให้หลอดลมค่อย ๆ ตีบแคบลงหรือถูกอุดกั้นโดยไม่อาจฟื้นคืนสู่สภาพปกติได้อีก โรคหลัก ๆ ในกลุ่มโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ได้แก่ โรคถุงลมโป่งพองและโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง ซึ่งเป็นสองโรคที่มักพบร่วมกันเสมอ นอกจากนี้ยังมีโรคหืดและโรคหลอดลมพองที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้เช่นกัน โดยอาการและการวินิจฉัยของโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังมีดังนี้

1) อาการโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรงพยาบาลสินแพทย์ (2564) ได้กล่าวว่า ระยะเริ่มแรกผู้ป่วยจะยังไม่แสดงอาการจนกระทั่งปอดถูกทำลายมากขึ้นผู้ป่วยถึงจะเริ่มแสดงอาการ โดยอาการที่แสดงได้แก่ ไอเรื้อรังมีเสมหะมากโดยเฉพาะในช่วงเช้าหลังตื่นนอน รู้สึกเหนื่อยหอบ อ่อนเพลีย ไม่มีแรง หายใจลำบาก แน่นหน้าอก หายใจมีเสียหวีด ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจบ่อย ๆ บางรายอาจมีอาการเจ็บหน้าอก ไอเป็นเลือด ปากและเล็บเปลี่ยนเป็นสีม่วง เมื่อโรคเริ่มลุกลามมากขึ้นผู้ป่วยจะมีอาการเหนื่อยหอบมากจนไม่สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ได้

ตามปกติ และน้ำหนักลดลงอย่างมาก ในระยะท้ายของโรคมักพบ ติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ภาวะหายใจวาย (Respiratory Failure) และหัวใจด้านขวาล้มเหลว

2) การวินิจฉัยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง MedThai (2560) ได้กล่าวว่า แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคในเบื้องต้นได้จากประวัติและอาการแสดงของผู้ป่วย (โดยเฉพาะอาการไอเรื้อรัง หอบเหนื่อยง่าย มีประวัติการสูบบุหรี่จัดมานาน) และจะยืนยันการวินิจฉัยเพิ่มเติม เช่น

(1) การตรวจสมรรถภาพปอด คือ วิธีมาตรฐานของการวินิจฉัยโรคถุงลมโป่งพอง เป็นการตรวจเพื่อยืนยันการวินิจฉัยในผู้ป่วยที่มีภาพถ่ายเอกซเรย์ผิดปกติหรือในผู้ป่วยที่มีอาการน่าสงสัย โดยแพทย์จะให้ผู้ป่วยหายใจเข้าให้เต็มที่แล้วเป่าลมหายใจออกอย่างรวดเร็วผ่านเครื่องสไปโรมิเตอร์ (Spirometry) แล้ววัดดูค่า FEV1 (Forced Expiratory Volume in 1 second) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรอากาศที่หายใจออกใน 1 วินาที และค่า FVC (Forced Vital Capacity) ซึ่งหมายถึง ปริมาตรอากาศที่หายใจออกทั้งหมดจนสุดอย่างเต็ม 1 ครั้ง โดยแพทย์จะประเมินจากค่า FEV1 และจากค่า FEV1 หารด้วยค่า FVC ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้ ถ้ายิ่งมีค่าต่ำก็ยิ่งบ่งชี้ว่ายิ่งมีความรุนแรง

(2) การตรวจหาระดับสารทริปซินในเลือด หากผู้ป่วยที่เป็นโรคถุงลมโป่งพองมีอายุน้อยกว่า 40-50 ปี สาเหตุอาจมาจากภาวะพร่องสารต้านทริปซินซึ่งเป็นโรคทางพันธุกรรมได้ ผู้ป่วยจึงจำเป็นต้องตรวจหาปริมาณ α1-antitrypsin ในเลือดเพื่อยืนยันการวินิจฉัยด้วย ส่วนบุคคลในครอบครัวก็ควรมาตรวจด้วยเช่นกัน

(3) การตรวจเลือดเพื่อดูระดับออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นการตรวจที่มีประโยชน์ในการประเมินความรุนแรงของโรค ซึ่งระดับออกซิเจนในเลือดของผู้ป่วยจะต่ำกว่าปกติตั้งแต่ระยะแรก ๆ และระดับคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดจะสูงกว่าปกติในระยะต่อมา

(4) การตรวจเสมหะหาเชื้อ ในรายที่แพทย์สงสัยว่ามีการติดเชื้อแทรกซ้อน (มีไข้ขึ้น มีเสมหะเป็นสีเหลืองหรือเขียว)

3.2 ปัจจัยของโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

คงศักดิ์ สุวรรณรักษ์ (2565) ได้กล่าวว่า โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง เกิดจากการที่ปอด ทั้งเนื้อปอด หลอดลม และหลอดเลือดปอดเกิดการอักเสบ เนื่องจากได้รับสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองเป็นเวลานาน ทำให้หลอดลมค่อย ๆ ตีบลง หรืออาจอุดกั้นโดยไม่สามารถฟื้นคืนสภาพเดิมได้ ซึ่งสาเหตุของโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังมีดังนี้

1) การสูบบุหรี่ MedThai (2560) ได้กล่าวว่า การสูบบุหรี่เป็นสาเหตุสำคัญที่พบได้บ่อยที่สุด ปริมาณและระยะเวลาที่สูบบุหรี่จะมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรค คือ ยิ่งสูบบุหรี่มากและสูบมานานหลายปีก็จะมีโอกาสเกิดโรคนี้ได้มาก

2) มลพิษทางอากาศ พบว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองใหญ่ ๆ จะมีอัตราการป่วยเป็นโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังซึ่งรวมถึงโรคถุงลมโป่งพองได้มากกว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในชนบท มลพิษทางอากาศจึงน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องไม่มากก็น้อย เช่น ฝุ่น ควันจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงหรือไอเสียรถยนต์ ควันพิษหรือละอองสารเคมีบางอย่างจากโรงงาน และความเสี่ยงจะเพิ่มมากขึ้นไปอีกหากมีการสูบบุหรี่ร่วมด้วย

3) โรคทางพันธุกรรม คือ ภาวะพร่องสารต้านทริปซิน (α1-antitrypsin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ป้องกันการถูกทำลายของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจากสารต่าง ๆ จึงช่วยป้องกันไม่ให้ถุงลมปอดถูกสารพิษ ภาวะนี้จัดเป็นโรคทางพันธุกรรมที่สามารถถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานได้ ความผิดปกติบางชนิดก็ทำให้เกิดการขาดเอนไซม์เพียงเล็กน้อยและไม่ทำให้เกิดโรค แต่ความผิดปกติบางชนิดก็ทำให้เกิดการขาดเอนไซม์ได้มากและส่งผลให้เป็นโรคถุงลมโป่งพองได้ในขณะที่ยังอายุไม่มาก แต่หากขาดเอนไซม์รุนแรงมาก ผู้ป่วยจะมีตับอักเสบอย่างรุนแรงตั้งแต่แรกคลอดและอาจเสียชีวิตก่อนที่จะเป็นโรคถุงลมโป่งพอง

4) โรคประจำตัว การมีโรคประจำตัวเหล่านี้ร่วมด้วยจะยิ่งทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังมากขึ้น ได้แก่

(1) โรคเบาหวาน สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย (2560) ได้กล่าวว่า โรคเบาหวานคือโรคที่เซลล์ร่างกายมีความผิดปรกติในขบวนการเปลี่ยนน้ำตาลในเลือดให้เป็นพลังงาน เมื่อน้ำตาลไม่ได้ถูกใช้จึงทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นกว่าระดับผิดปกติ

(2) โรคความดันโลหิตสูง ความดันโลหิตสูงเป็นภัยเงียบที่พบได้บ่อยในกลุ่มคนสูงอายุ มักไม่แสดงอาการ แต่สร้างความเสียหายต่อหลอดเลือดและหัวใจอย่างมาก ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพเรื้อรังอื่น ๆ เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือด เป็นต้น

(3) โรคหัวใจขาดเลือด คือโรคที่เกิดขึ้นเนื่องจากหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจตีบหรือตัน ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจมีเลือดไปเลี้ยงลดลงหรือไม่มีเลย เป็นผลให้การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติ หากรุนแรงทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจตายได้

3.3 แนวคิดเกี่ยวกับการทำเหมืองข้อมูล

การทำเหมืองข้อมูล เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดา (2557) ได้กล่าวว่า การทำเหมืองข้อมูลเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ความรู้ และสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจและนำไปดำเนินงานได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด โดยการทำเหมืองข้อมูลมีรูปแบบการวิเคราะห์ที่หลากหลาย การจำแนกประเภทข้อมูลก็เป็นเทคนิคหนึ่งของการทำเหมืองข้อมูล ซึ่งการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) คือการสร้างแบบจำลองที่มีข้อมูลจำแนกประเภท แล้วแบบจำลองอาจสร้างด้วยวิธีการเรียนรู้โดยเครื่องหรือวิธีเชิงสถิติ โดยการสร้างแบบจำลองการจำแนกประเภทข้อมูลนั้นมีหลายรูปแบบดังนี้

1) เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ วิภาวรรณ บัวทอง (2559) ได้กล่าวว่า เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจเป็นการจำแนกข้อมูลจำนวนมากให้เป็นกลุ่มที่มีขนาดเล็กลง โดยใช้กฎในการตัดสินใจ และสามารถสร้างแบบจำลองได้จากกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธี J48 โดยขั้นตอนวิธี J48 เป็นส่วนขยายของขั้นตอนวิธี ID3 ซึ่งเป็นมาตรฐานของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน ขั้นตอนวิธีสามารถเข้าถึงโหนดการตัดสินใจได้โดยเลือกการแบ่งที่เหมาะสมจนกว่าจะแบ่งแยกได้อีกและไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการแบ่งแยกไบนารี่มีรูปร่างที่แปรผัน

2) โครงข่ายประสาทเทียม สายชล สินสมบูรณ์ทอง (2559) ได้กล่าวว่า โครงข่ายประสาทเทียมเป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่จำลองมาจากการทำงานของระบบสมองของมนุษย์เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกขั้นตอนวิธี Multilayer Perceptron โดยขั้นตอนวิธีนี้เป็นการเรียนรูปแบบมีผู้สอน โครงข่ายประสาทเทียมจะได้รับการฝึกด้วยกลุ่มฝึกที่ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าและค่าส่งออกที่ต้องการการปรับค่าน้ำหนักและค่าไบแอส (Bias) นั้นจะกระทำเพื่อให้ค่าส่งออกที่ได้มีความใกล้เคียง หรือตรงกับค่าส่งออกที่ต้องการมากที่สุด

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนิสรา อุตตมะเวทิน (2561) ทำเรื่องการใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการทำนายการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ได้แก่ เทคนิคต้นไม่ตัดสินในและโครร่างประสาทเทียม เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพ โดยการจำแนกประเภทและใช้อันกอริทึมทั้งหมด 3 ตัว ได้แก่ C4.5, Simple Cart และ Multilayer Perceptron จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพด้วยเทคนิค Cross validation Test แบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ส่วนและ 10 ส่วนและ Percentage Split แบ่งข้อมูลออกเป็น 66% 45% 30% 10% และเทคนิคการใช้โครงข่ายประสาทเทียมนั้นเพิ่มการใช้อัตราการเรียนรู้ ค่าโมเมนตัมและชั้นซ่อนเพิ่มเข้าไปในการทดสอบ โดยการทดสอบนั้นจำเป็น

จะต้องแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือข้อมูลสำหรับการเรียนรู้และข้อมูลสำหรับไว้ใช้ในการทดสอบเพื่อทำให้ค่าที่ ได้ออกมามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ประภาสิริ ตรีพาณิชกุล (2560) ทำเรื่องระบบพยากรณ์ความเสี่ยงของโรคไฮเปอร์ไทรอยด์ด้วยวิธีการทำเหมืองข้อมูลด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมและเทคนิคการเรียนรู้แบบเบย์โดยการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นมีความ ถูกต้องถึง 96.59% โดยการใช้ขั้นตอนวิธี Multilayer Perceptron โดย Hidden Layers เป็น 3,5,7 และ 9 ตามลำดับและใช้วิธีทดสอบประสิทธิภาพแบบจำลองด้วยกัน 5 วิธีคือวิธีการแบ่งข้อมูลแบบสุ่มด้วยการแบ่งร้อย ละ 10, 30 และ 66 และวิธีการตรวจแบบ 5 Fold และ 10-Fold โดยที่ Hidden Layers 7 ด้วยวิธีการตรวจสอบไขว้ชนิด 5-Fold Cross Validation ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมีค่าประสิทธิภาพความถูกต้องเท่ากับ 96.95% ซึ่ง ได้ออกแบบระบบเป็นแอปพลิเคชันในการพยากรณ์

G. D. Apriliana (2020) Conduct Analysis of data mining for classification of Obstructive Sleep Apnea in chronic obstructive pulmonary disease patients. In this study, we used Information Gain feature selection to determine which features that affect the risk of OSA in COPD patients. After the feature selection process was completed, we used the Random Forest method to classify who has a high risk and who has a low risk of developing OSA in COPD patients. The sample in this study consist of 111 COPD patients with 34 features who were hospitalized in X Hospital during March 2018 to May 2018. From an observational result, after we choose 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, 82 %, and 100 % best features of total features, the best accuracy is obtained by 10 % of best features total features (4 best features) i.e. 85.71 % with sensitivity and specificity are 71.43 % and 92.86 % respectively. The feature with the highest ranking is waist size.

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 เครื่องมือวิจัย

ในการวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โดยใช้การเทคนิคเหมืองข้อมูลประกอบด้วยเครื่องมือด้านซอฟต์แวร์ และภาษาที่ใช้ในการพัฒนา ดังนี้

1) เครื่องมือด้านซอฟต์แวร์ ได้แก่ โปรแกรมเวกา (Weka 3.8.6) โปรแกรมบริการเว็บอาปาเช (Apache Web Server) และโปรแกรมวิชวลสตูดิโอโคด (Visual Studio Code)

2) ภาษาที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ ภาษาเอชทีเอ็มแอล (HTML) และภาษาพีเอชพี (PHP)

4.2 การสร้างแบบจำลอง

ในการทำวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการทำเหมืองข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Weka 3.8.6 ซึ่งขั้นตอนการทำจะใช้มาตราฐานกระบวนการพัฒนาเหมืองข้อมูล CRISP-DM ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน

1) การทำความเข้าใจงาน (Business Understanding) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังเป็นโรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจที่พบมากในประเทศไทย ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญทางด้านสาธารณสุขในแต่ละปี ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังมาทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง และเพื่อพัฒนาแบบจำลองเกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล

2) การทำความเข้าใจข้อมูล (Data Understanding) เป็นขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ของผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังจากโรงพยาบาลตาคลี จำนวน 920 ระเบียน จัดเก็บในรูปแบบ Excel โดยปราศจากข้อมูลส่วนบุคคลที่เป็นความลับ เช่น เลขประจำตัวผู้ป่วย (Hospital Number; HN)

3) การเตรียมข้อมูล (Data Preparation) เป็นขั้นตอนในการแปลงข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมจากระบบจัดการฐานข้อมูลของโรงพยาบาลตาคลี ให้กลายมาเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งการเตรียมข้อมูลจะมีขั้นตอนดังนี้

(1) การคัดเลือกข้อมูล (Data Selection) เป็นการคัดเลือกข้อมูลที่เกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังและคัดเลือกคุณลักษณะจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เพศ อายุ กลุ่มอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ค่า BMI เกณฑ์ค่า BMI อาชีพ ประวัติการสูบบุหรี่ พันธุกรรม โรคประจำตัว (โรคเบาหวาน, โรคความดันโลหิตสูง, โรคหัวใจขาดเลือด) อาการต่างๆ (เหนื่อยหอบ, ไอเรื้อรัง, เสมหะ) และผลการวินิจฉัย ซึ่งมีทั้งหมด 17 คุณลักษณะดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะที่ใช้สร้างแบบจำลอง

ที่	ปัจจัย	ชื่อคุณลักษณะ	รายละเอียด
1	เพศ	gender	ชาย = male, หญิง = female
2	อายุ	age(year)	อายุของผู้ป่วย
3	กลุ่มอายุ	AGE	น้อยกว่า 20 ปี = 1, 20 -39 ปี = 2, 40 – 59 ปี = 3, 60 ปีขึ้นไป = 4
4	น้ำหนัก	weight(kg)	มีหน่วยเป็นกิโลกรัม
5	ส่วนสูง	height(cm)	มีหน่วยเป็นเซนติเมตร
6	ค่า BMI	BMI(kg/m^2)	ค่าดัชนีมวลกายของผู้ป่วย
7	กลุ่มค่า BMI	BMI	น้อยกว่า 18.5 = underweight, 18.5 – 24.99 = normal, 25.00 ขึ้นไป = overweigth
8	อาชีพ	occupation	เกษตรกรรม = Agriculturalist, ลูกจ้าง/รับจ้างทั่วไป = Employee, ค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว = Merchant, ข้าราชการ = Government officer, รัฐวิสาหกิจ = Stat enterprise
9	ประวัติการสูบบุหรี่	smoker	yes = สูบบุหรี่, no = ไม่สูบบุหรี่/เคยสูบบุหรี่
10	พันธุกรรม	heredity	yes = มีคนในครอบครัวเป็นโรคCOPD, no = ไม่มีคนในครอบครัวเป็นโรคCOPD
11	โรคเบาหวาน	diabetes	yes = เป็นโรค, no = ไม่เป็นโรค
12	โรคความดันโลหิตสูง	hypertension	yes = เป็นโรค, no = ไม่เป็นโรค
13	โรคหัวใจขาดเลือด	IHD	yes = เป็นโรค, no = ไม่เป็นโรค
14	อาการเหนื่อยหอบ	dyspnea	yes = มีอาการ, no = ไม่มีอาการ
15	อาการไอเรื้อรัง	cough	yes = มีอาการ, no = ไม่มีอาการ
16	มีเสมหะมาก	sputum	yes = มีอาการ, no = ไม่มีอาการ
17	ผลการวินิจฉัย	results	GOLD 1 = เป็นโรคเล็กน้อย, GOLD 2 = เป็นโรคปานกลาง, GOLD 3 = เป็นโรครุนแรง, GOLD 4 = เป็นโรครุนแรงมาก, noCOPD = ไม่เป็นโรคCOPD

(2) การแปลงค่ารูปแบบของข้อมูล (Data Transformation) เป็นการแปลงค่าเพื่อให้อยู่ในรูปแบบที่พร้อมนำปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม จากการแปลงข้อมูลจะได้ชุดข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาความเสี่ยงของการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังได้

4) การสร้างแบบจำลอง (Modeling) การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Weka 3.8.6 สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งเทคนิคที่ใช้ ได้แก่ เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (ขั้นตอนวิธี J48) และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (ขั้นตอนวิธี Multilayer Perceptron) เปรียบเทียบกันโดยมีเกณฑ์การเปรียบเทียบคือ ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถ่วงดุล (F-Measure) โดยผู้วิจัยได้เลือกวิธีทดสอบประสิทธิภาพด้วยCross-validation Folds จะแบ่งข้อมูลเป็น 10 ส่วนและ 5 ส่วน และ Percentage Split จะแบ่งข้อมูลเป็น 66%, 60%, 45%, 30%

5) การประเมินผล (Evaluation) จากการสร้างแบบจำลองพบว่ามี 7 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ อาการไอเรื้อรัง อาการเหนื่อยหอบ มีเสมหะมาก โรคหัวใจขาดเลือด โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน และพันธุกรรม ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (ขั้นตอนวิธี J48) วิธีทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการ Percentage Split 45 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่าความถูกต้อง 95.06% ค่าความแม่นยำ 94.90% ค่าความระลึก 95.10% และค่าถ่วงดุล 94.90% ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของต้นไม้ตัดสินใจ

ขั้นตอนวิธี	วิธีทดสอบประสิทธิภาพ	ค่าความถูกต้อง (%)	ค่าความแม่นยำ(%)	ค่าความระลึก(%)	ค่าความถ่วงดุล(%)
J48	Cross-validation Folds 10	95.00	94.90	95.00	94.90
	Cross-validation Folds 5	94.57	94.50	94.60	94.50
	Percentage Split 66	93.61	94.60	93.60	93.90
	Percentage Split 60	94.29	94.90	94.30	94.50
	Percentage Split 45	95.06	94.90	95.10	94.90
	Percentage Split 30	94.88	94.70	94.90	94.70

แบบจำลองที่สร้างด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (ขั้นตอนวิธี Multilayer Perceptron) วิธีทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการ Percentage Split 30 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่าความถูกต้อง 93.63% ค่าความแม่นยำ 93.50% ค่าความระลึก 93.60% และค่าถ่วงดุล 93.50% ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของโครงข่ายประสาทเทียม

ขั้นตอนวิธี	วิธีทดสอบประสิทธิภาพ	ค่าความถูกต้อง (%)	ค่าความแม่นยำ(%)	ค่าความระลึก(%)	ค่าความถ่วงดุล(%)
Multilayer Perceptron	Cross-validation Folds 10	92.83	92.60	92.80	92.70
	Cross-validation Folds 5	93.04	92.80	93.00	92.90
	Percentage Split 66	91.40	91.40	91.40	91.40
	Percentage Split 60	91.85	92.10	91.80	92.00
	Percentage Split 45	92.10	91.60	92.10	91.60
	Percentage Split 30	93.63	93.50	93.60	93.50

6) การนำไปใช้ (Deployment) เป็นการนำแบบจำลองที่ได้ไปสร้างเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อคัดกรองความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังเพื่อให้ผู้ใช้งานทั่วไปได้เข้ามาตรวจสุขภาพของตนเอง และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันต่อไป

5. ผลการวิจัย

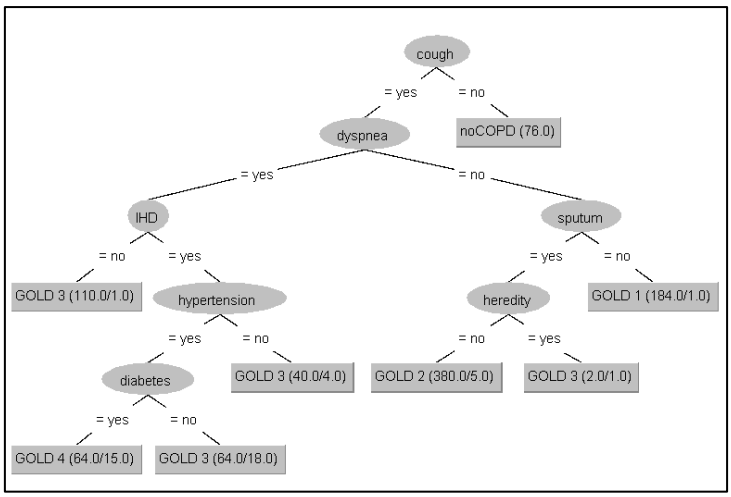
5.1 ผลการสร้างแบบจำลอง

จากการจำแนกประเภทข้อมูล จากการพิจารณาการทดสอบประสิทธิภาพ พบว่าขั้นตอนวิธี J48 วิธีทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธีการ Percentage Split 45 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่าความถูกต้อง 95.06% ดังรูป

```
=== Classifier model (full training set) ===

J48 pruned tree
------------------

cough = yes
|   dyspnea = yes
|   |   IHD = no: GOLD 3 (110.0/1.0)
|   |   IHD = yes
|   |   |   hypertension = yes
|   |   |   |   diabetes = yes: GOLD 4 (64.0/15.0)
|   |   |   |   diabetes = no: GOLD 3 (64.0/18.0)
|   |   |   hypertension = no: GOLD 3 (40.0/4.0)
|   dyspnea = no
|   |   sputum = yes
|   |   |   heredity = no: GOLD 2 (380.0/5.0)
|   |   |   heredity = yes: GOLD 3 (2.0/1.0)
|   |   sputum = no: GOLD 1 (184.0/1.0)
cough = no: noCOPD (76.0)

Number of Leaves  :     8

Size of the tree :      15
```

```
=== Summary ===

Correctly Classified Instances         481               95.0593 %
Incorrectly Classified Instances        25                4.9407 %
Kappa statistic                          0.9323
Mean absolute error                      0.0335
Root mean squared error                  0.1294
Relative absolute error                 11.4891 %
Root relative squared error             33.7944 %
Total Number of Instances              506

=== Detailed Accuracy By Class ===

                 TP Rate  FP Rate  Precision  Recall   F-Measure  MCC
                 0.929    0.033    0.890      0.929    0.909      0.883
                 0.995    0.013    0.981      0.995    0.988      0.980
                 0.683    0.015    0.800      0.683    0.737      0.718
                 1.000    0.000    1.000      1.000    1.000      1.000
                 0.971    0.002    0.990      0.971    0.980      0.975
Weighted Avg.    0.951    0.014    0.949      0.951    0.949      0.938

=== Confusion Matrix ===

   a   b   c   d   e   <-- classified as
 105   1   7   0   0 |   a = GOLD 3
   0 203   0   0   1 |   b = GOLD 2
  13   0  28   0   0 |   c = GOLD 4
   0   0   0  46   0 |   d = noCOPD
```

รูป 1 ผลการจำแนกประเภทข้อมูลด้วย ขั้นตอนวิธี J48 วิธีทดสอบ Percentage Split 45



รูป 2 กราฟต้นไม้ของ ขั้นตอนวิธี J48

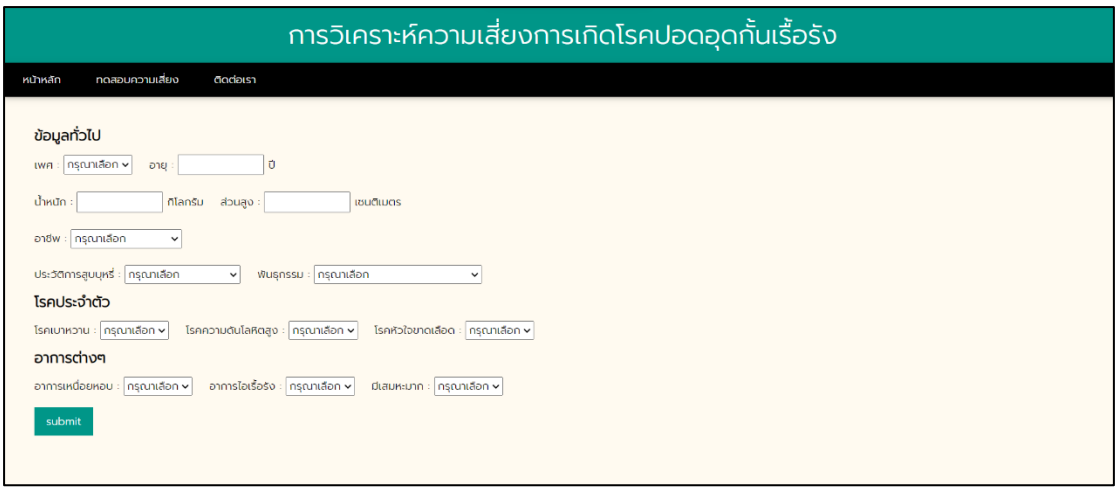
5.2 ผลการพัฒนาระบบ

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการสร้างแบบจำลอง โดยได้ออกมาในรูปแบบกฎความสัมพันธ์มาประกอบในการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์หาความเสี่ยงการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล ซึ่งได้ดำเนินงาน ดังนี้

1) ส่วนของหน้าแรก เมื่อผู้ใช้เข้ามาใช้งานระบบ ก็จะปรากฏหน้าแรกของระบบก่อนนั่นคือหน้าหลักที่ประกอบไปด้วยข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ดังรูป

รูป 3 หน้าแรกของระบบการวิเคราะห์หาความเสี่ยงการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

2) ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้ป่วย เมื่อผู้ใช้งานเข้ามาในหน้าทดสอบความเสี่ยง ระบบจะแสดงแบบฟอร์มของระบบสำหรับการกรอกข้อมูลของผู้ป่วยเพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเสี่ยงการเกิดโรค จะประกอบไปด้วยเพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง อาชีพ ประวัติการสูบบุหรี่ พันธุกรรม โรคประจำตัว(โรคเบาหวาน, โรคความดันโลหิตสูง, โรคหัวใจขาดเลือก) อาการต่างๆ (เหนื่อยหอบ, ไอเรื้อรัง, มีเสมหะมาก) ดังรูป



รูป 4 หน้าทดสอบความเสี่ยงการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังสำหรับผู้ป่วย

จากนั้นเมื่อผู้ใช้งานทำการกรอกข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์ลงไปในฟอร์มที่กำหนด แล้วทำการคลิกปุ่ม submit จะเกิดผลลัพธ์จากการพยากรณ์

6. อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่า โปแกรมประยุกต์เว็บสำหรับการคัดกรองความเสี่ยงการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลมาทำการเปรียบเทียบหาค่าที่ดีที่สุดนั้นได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา โดยนำเอาเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจและเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อมาสร้างแบบจำลองการเรียนรู้มาเปรียบเทียบค่าที่ดีที่สุดและใช้ในการทำโปรแกรมประยุกต์เว็บ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายผ่านเว็บเบราเซอร์ทั้งในคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ หรือ แท็บเล็ต ที่เชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ต โดยผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้โดยการกรอกข้อมูลเพื่อดูผลพยากรณ์ทดสอบว่าผู้ใช้งานมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังในระดับใด

7. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อการเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล การวิจัยผู้วิจัยควรมีความรู้เกี่ยวกับการใช้งานของโปรแกรมเวกาหรือโปรแกรมอื่น ๆ ที่จะนำมาใช้ทำเหมืองข้อมูล โดยจะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนวิธีที่หลากหลาย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการพยากรณ์ให้มีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

คงศักดิ์ สุวรรณรักษ์. (2565). *โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) คืออะไร มีวิธีรักษาอย่างไร?*. [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 19 มีนาคม 2565, จาก https://www.nksleepcare.com/what-is-copd/

ชนิสรา อุตตมะเวทิน. (2561). *การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการทำนายการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่*. วิทยานิพนธ์ วท.บ.,มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

ประภาสิริ ตรีพาณิชกุล. (2560). *ระบบพยากรณ์ความเสี่ยงของโรคไฮเปอร์ไทรอยด์ ด้วยวิธีการทำ เหมืองข้อมูล.* วิทยานิพนธ์ วท.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

โรงพยาบาลสินแพทย์. (2564). *โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease หรือ COPD).* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 17 กุมภาพันธ์ 2565, จาก https://www.synphaet.co.th/โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง-chronic-o/

วิภาวรรณ บัวทอง. (2559). *การทำเหมืองข้อมูล : Data Mining*. ภูเก็ต: มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต.

สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. (2560). *รู้จักโรคเบาหวาน.* [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 4 เมษายน 2565, จาก https://www.dmthai.org/new/index.php/sara-khwam-ru/understand-diabetes/understand-diabetes-2

สายชล สินสมบูรณ์ทอง. (2559). *การทำเหมืองข้อมูล Data Mining.* กรุงเทพฯ: จามจุรีย์.

เอกสิทธิ์ พัชรวงศ์ศักดา. (2557). *การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเทคนิคดาต้าไมน์นิงเบื้องต้น* กรุงเทพฯ : Asia Digital Printing Co.,Ltd.

G. D. Apriliana (2020). *Analysis of data mining for classification of Obstructive Sleep Apnea in chronic obstructive pulmonary disease patients.* AIP Conference Proceedings 2242, 030023 (2020);

Medthai. (2560). *ถุงลมโป่งพอง (Emphysema) อาการ, สาเหตุ, การรักษา ฯลฯ.* ค้นเมื่อ 19 มีนาคม 2565, จาก https://medthai.com/ถุงลมโป่งพอง/