ระบบเฝ้าระวังความแรงสัญญาณการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงต้นทุนต่ำ

Low-cost Monitoring System of Radio Broadcast Signal Strength

อัครเดช แย้มคลี่ [1,3]

จิรวัฒน์ พงษ์พานิช [1,4]

ธนภัทร หอมทรงทรัพย์ [1]

เพชร นันทิวัฒนา [1]

เติมพงษ์ ศรีเทศ [1]

ปรีชา กอเจริญ [2]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[2]คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา

[3]สำนักส่งเสริมและพัฒนางานเทคนิค กรมประชาสัมพันธ์

[4]ฝ่ายควบคุมโครงข่าย ส่วนปฏิบัติการควบคุมโครงข่าย บริษัท กสท โทรคมนาคมจำกัด (มหาชน)

E-mail: petch.na@spu.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องรับวิทยุเอฟเอ็มเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความจำเป็นในการรับฟังข่าวสาร คุณภาพของการรับฟังขึ้นอยู่กับระดับความแรงของสัญญาณที่แพร่ออกมา เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพระบบการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุของสถานีในแต่ละพื้นที่ให้บริการ การตรวจวัดระดับความเข้มของสัญญาณวิทยุในแต่ละพื้นที่จึงมีความจำเป็น ระบบเฝ้าระวังความแรงสัญญาณการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงต้นทุนต่ำจึงถูกพัฒนาขึ้น โดยมีความคลาดเคลื่อนในการวัดเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้งานอยู่ต่ำกว่า 7 % เท่านั้น จึงสามารถที่จะนำมาใช้ในการประเมินความแรงของสัญญาณออกอากาศในเบื้องต้นทดแทนการส่งบุคลากรออกทำการวัดในแต่ละพื้นที่ได้

คำสำคัญ: ระบบเฝ้าระวังความแรงสัญญาณ การออกอากาศวิทยุกระจายเสียง อุปกรณ์ไอโอทีต้นทุนต่ำ

ABSTRACT

FM radio receiver is an electronic device which is necessary to listen to news and entertainments. The quality of sound from the receiver depends on the received signal strength. In order to verify the effectiveness of the radio broadcasting system, measuring the strength of the radio signal in each area is needed. The low-cost monitoring system of radio broadcast signal strength was developed. The accuracy of the developed system is compared to the standard measuring tool which error is less than 7% . Therefore, it might be used to be a

monitoring system to assess in each area instead of sending personnel out to measure the strength of the broadcast signal.

KEYWORDS: Monitoring system, Radio Broadcasting, Low-cost IoT

1. บทนำ

การตรวจวัดเขตพื้นที่ให้บริการสัญญาณวิทยุกระจายเสียงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพระบบการกระจายสัญญาณวิทยุของสถานีในเครือข่ายของสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ ตามมาตรฐานการรับฟังวิทยุกระจายเสียง ค่าความเข้มของสัญญาณวิทยุต่ำสุดที่เครื่องรับวิทยุกระจายเสียงของผู้ฟังทั่วไปสามารถรับฟังได้ อย่างชัดเจน มีความต่อเนื่อง ไม่มีสัญญาณรบกวน ซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน ITU-R BS.412 [1] ให้วัดสัญญาณที่ระดับความสูง 10 เมตร เหนือพื้นดิน สัญญาณวิทยุกระจายเสียงที่รับฟังได้ดีในเขตเมืองใหญ่ต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 70 dBμV/m เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนจากสิ่งแวดล้อม เยอะมาก ส่วนนอกเมืองหรือชนบทที่ไม่แออัดขนาดสัญญาณที่รับฟังได้ดีควรให้มีค่าอย่างน้อย 48 dBμV/m เพื่อการรับฟังได้อย่างชัดเจน การแพร่กระจายคลื่นวิทยุ คลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกจากสายอากาศนั้น จะมีการแพร่กระจายออกไปในทุกทิศทาง และจะถูกลดทอนตามสภาพภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันมาก ไม่สามารถคำนวณค่าระดับความเข้มได้อย่างแม่นยำในแต่ละพื้นที่ของการรับสัญญาณเพราะฉะนั้น การลงพื้นที่ตรวจวัดเขตพื้นที่บริการสม่ำเสมอจะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพระบบการกระจายสัญญาณวิทยุของสถานีวิทยุกระจายเสียงได้เป็นอย่างดี แต่ต้องใช้งบประมาณค่าใช้จ่ายและบุคลากรในการดำเนินงานสูง อีกทั้งการตรวจวัดอาจประสบปัญหาเรื่อง ของสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยทำให้เกิดความยากลำบากในการตรวจวัดค่าความเข้มสัญญาณวิทยุกระจายเสียง คณะผู้วิจัยจึงเสนอระบบเฝ้าระวังความแรงสัญญาณการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงผ่านไอโอทีต้นทุนต่ำเพื่อใช้แก้ปัญหาในด้านการเฝ้าระวังค่าระดับความแรงของสัญญาณการออกอากาศในพื้นที่ต่าง ๆ โดยมีต้นทุนอุปกรณ์ต่ำ สามารถจัดเก็บข้อมูลค่าความแรงสัญญาณวิทยุและสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานของระบบวิทยุกระจายเสียงในเครือข่ายของสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ได้ต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบวิทยุ

ระบบวิทยุกระจายเสียงโดยทั่วไปมีการสื่อสารทางเดียวจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับเท่านั้น ส่วนประกอบสำคัญคือ เครื่องส่ง เครื่องรับสายอากาศและสัญญาณข่าวสาร สัญญาณข่าวสารถูกป้อนเข้าที่สู่เครื่องส่งซึ่งทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณข่าวสารลงบนสัญญาณพาหะความถี่สูง สัญญาณพาหะที่ถูกมอดูเลตแล้วจะต้องไปผ่านการขยายให้มีกำลังมากขึ้นแล้วจึงป้อนแก่สายอากาศเพื่อแผ่กระจายสัญญาณให้สามารถส่งไปได้ไกล เมื่อสัญญาณแพร่มาถึงเครื่องรับ คลื่นที่รับได้จากสายอากาศจะถูกแปลงโดยเครื่องรับซึ่งจะเลือกรับเฉพาะคลื่นที่ต้องการเท่านั้น การกู้คืนสัญญาณข่าวสารกลับคืนออกมาเป็นเสียงพูดหรือเสียงดนตรีให้กับผู้ใช้งานจะทำโดยวงจรดีมอดูเลต สำหรับช่วงแถบความถี่ที่ใช้สำหรับการรับส่งวิทยุเอฟเอ็ม (Frequency modulation, FM) อยู่

ในแถบความถี่สูงมาก (Very high frequency, VHF) คลื่นในแถบความถี่นี้มีระยะการรับส่งที่ให้ผลในการรับที่ดีในระยะห่างจากสถานีแพร่กระจายคลื่นประมาณไม่เกินระยะ 50 กิโลเมตร และอาจรับได้ในระยะทางมากขึ้นถ้ามีการติดตั้งสายอากาศชนิดจำกัดทิศทางหรือสายอากาศที่มีอัตราการขยายสูง แถบความถี่ที่ใช้ในประเทศมีค่าความถี่อยู่ระหว่าง 88 – 108 MHz

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานสายอากาศ

สายอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นความถี่วิทยุ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อแพร่กระจายคลื่นในฝั่งวงจรส่ง และในทางกลับกันก็ทำหน้าที่เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกันในฝั่งวงจรรับ สายอากาศมีหลายขนาดและรูปแบบ ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น สายอากาศสำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ในบ้าน ส่วนใหญ่เป็นสายอากาศชนิด ยากิ-อุดะ มักติดตั้งไว้บนหลังคา ทำด้วยอะลูมิเนียม เพราะน้ำหนักเบาและทนต่อสภาพอากาศได้ดีกว่าโลหะทั่วไป สายอากาศของไมค์ลอย เป็นเพียงสายไฟสั้น ๆ มีความยาวเป็นสัดส่วนกับค่าความถี่คลื่นพาห์ที่ใช้ สายอากาศแบบโอมนิ (Omni-direction) เป็นสายอากาศอากาศที่กระจายสัญญาณรอบทิศทาง โดยมากใช้ติดตั้งไว้นอกอาคารตรงกลาง เพื่อให้กระจายสัญญาณได้ครอบคลุมพื้นที่นั้นๆ สายอากาศแบบไดเรกชันชนิดยากิ-อุดะ (Yaki-Uda) โดยนำสายอากาศไดโพลมาปรับปรุงแบบรูปการแพร่กระจายคลื่นให้มีทิศทางเดียว ช่วยลดโลบด้านหลัง (Back lobe) ทำให้ลดโอกาสรับสัญญาณจากด้านหลังสายอากาศ สามารถเข้ากับไดโพลได้พอดีกับสัญญาณรับทางด้านหน้า ตัวสะท้อนคลื่น (Reflector) ช่วยสะท้อนคลื่นทำให้สายอากาศชี้ทิศทาง

2.3 สมการการส่งผ่าน

สมการการส่งผ่าน (Friis transmission formula) แสดงดัง (2.1) ใช้ในการคำนวณหากำลังงานที่ได้รับ P_R จากเครื่องส่งผ่านสายอากาศฝั่งส่งที่มีค่ากำลังงานส่ง P_T มีค่าอัตราการขยายของสายอากาศฝั่งส่ง G_T และสายอากาศฝั่งรับ G_R มีระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองที่ระยะทาง R ทำงานที่ความถี่คลื่นพาห์ f และความเร็วของแสง c

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R c^2}{(4\pi R f)^2} \qquad (2.1)$$

2.4 โพรโตคอลเอ็มคิวทีที

โพรโตคอลเอ็มคิวทีที (Message Queuing Telemetry Transport, MQTT) เป็นโพรโตคอลที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบอุปกรณ์กับอุปกรณ์ (Machine to Machine, M2M) เพื่อใช้ในการพัฒนาเทคโนโลยีไอโอที (Internet of Things, IoTs) ที่เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อินเทอร์เน็ตสามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรทัศน์ ตู้เย็น เชื่อมโยงการสื่อสารเข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลเอ็มคิวทีทีมีการใช้ทรัพยากรระบบน้อย ออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก แบนด์วิธต่ำ ใช้หลักการแบบ Publisher /Subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ใน เว็บเซอร์วิสที่ต้องใช้ เว็บเซิร์ฟเวอร์ เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่ จัดการคิว รับ - ส่ง ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber

3. วิธีดำเนินงาน

3.1 การตรวจสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายสัญญาณ

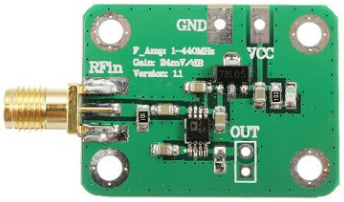
เดิมวิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพระบบการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุของเครือข่ายสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ในแต่ละพื้นที่ ดำเนินการโดยทำการจัดสรรเจ้าหน้าที่ออกทำการตรวจวัดระดับความแรงของสัญญาณวิทยุในแต่ละพื้นที่ให้บริการด้วยเครื่องมือวัดยี่ห้อ Anritsu รุ่น ML524B ใช้ร่วมกับสายอากาศไดโพล ทำการวัดในพื้นที่ต่าง ๆ โดยเฉพาะที่ที่ห่างไกลจากเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ ผลที่ได้จากการสำรวจถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบวิทยุกระจายเสียง และเพื่อที่จะได้ทำการแก้ไขปัญหาพื้นที่อับสัญญาณ ซึ่งการดำเนินการดังกล่าวจะมีค่าใช้จ่ายด้านบุคลากรค่อนข้างสูง และเป็นค่าใช้จ่ายทุก ๆ ครั้งที่มีการตรวจสอบการแพร่กระจายสัญญาณ ซึ่งจะต้องดำเนินการตรวจสอบอยู่เป็นระยะ ๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดงบประมาณค่าใช้จ่ายและเวลาในการลงพื้นที่ การจัดทำระบบตรวจวัดค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ โดยนำอุปกรณ์ไปติดตั้งตามพื้นที่ให้บริการบริเวณต่าง ๆ และอุปกรณ์ที่นำไปติดตั้งนี้ทำการส่งค่าที่วัดได้ผ่านระบบโทรคมนาคมกลับมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่กรมประชาสัมพันธ์โดยอัตโนมัติจึงเป็นแนวทางที่สามารถจะลดค่าใช้จ่ายได้

3.2 การสร้างระบบตรวจวัดค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ

การสร้างระบบตรวจวัดค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่จะนำไปติดตั้งตามพื้นที่ให้บริการบริเวณต่าง ๆ ต้องทำการออกแบบให้มีต้นทุนต่ำ และสามารถให้ค่าการวัดที่มีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดที่ใช้อยู่ไม่มากนัก เพื่อจะสามารถนำไปใช้เป็นการคัดกรองเบื้องต้น ซึ่งเมื่อตรวจสอบพบปัญหาที่บริเวณใด จึงจะดำเนินการส่งเจ้าหน้าที่เพื่อทำการวัดและตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดมาตรฐานอีกครั้ง

3.2.1 ไอซีขยายสัญญาณแบบลอการิทึม AD8310

ไอซี AD8310 ดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณแบบลอการิทึมสามารถตรวจวัดสัญญาณความถี่ช่วงของ DC ถึง 440 MHz สามารถตรวจวัดค่าความแรงของสัญญาณในช่วง – 91 dBV ถึง +4 dBV ให้ค่าเอาท์พุทการวัดเป็นแรงดันไฟฟ้าค่อนข้างเป็นเชิงเส้นในช่วงแรงดัน 0.35V ถึง 2.5V ทั้งนี้การตอบสนองต่อความถี่ของไอซีนี้จะตอบสนองในช่วงกว้างมากดังนั้นในวงจรแมชชิ่งเพื่อให้สามารถใช้งานในย่านการวัดคลื่นเอฟเอ็มที่เหมาะสมจะต้องเลือกค่าอุปกรณ์พาสซีฟให้สามารถตอบสนองย่านการวัดที่แคบลง โดยเลือกให้วงจรแมชชิ่งในย่านความถี่ 100 MHz [2]



ภาพที่ 1 บอร์ดวงจรขยายสัญญาณแบบลอการิทึมที่ใช้ไอซี AD8310

3.2.2 เครื่องมือวัดยี่ห้อ Anritsu รุ่น ML524B

เครื่องมือวัดยี่ห้อ Anritsu รุ่น ML524B ดังแสดงในภาพที่ 2 สามารถตรวจจับความถี่ในช่วง 25 – 1000 MHz และสามารถวัดความแรงของสัญญาณได้ 0 – 114 dBμV/m (สำหรับความถี่ 25 – 300 MHz) และ 114 – 120 dBμV/m (สำหรับความถี่ 300 – 1000 MHz) ใช้งานร่วมกับสายอากาศไดโพลแบบครึ่งความยาวคลื่น (Half-Wave) เป็นเครื่องมือวัดมาตรฐานที่เครือข่ายสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ใช้ในการวัดค่าความแรงของสัญญาณในพื้นที่ให้บริการต่าง ๆ

ภาพที่ 2 เครื่องมือวัดยี่ห้อ Anritsu รุ่น ML524B

3.2.3 ราสเบอรี่ไพล์

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ควบคุมอุปกรณ์อุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ ได้ ถูกนำมาใช้ในโครงการนี้เพื่อเป็นโนดการวัด และเป็นเซอร์ฟเวอร์เพื่อรับข้อมูลการวัดที่ถูกส่งผ่านมาทางอินเตอร์เนต ทำให้สามารถวัดความแรงของสัญญาณการแพร่กระจายคลื่นได้ในบริเวณที่มีการให้บริการของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรคมนาคม ส่วนการเก็บข้อมูลสามารถติดตั้งได้ที่กรมประชาสัมพันธ์ และสามารถเรียกดูข้อมูลได้ทั้งบนคอมพิวเตอร์และบนสมาร์ทโฟน การควบคุมการทำงานของราสเบอรี่ไพสามารถติดต่อกับเว็ปเบราเซอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ใช้โนดเรด (Node-RED) เป็นเครื่องมือสำหรับการพัฒนาโดยเป็นการพัฒนาโปรแกรมแบบโฟลเบส (Flow Based Programming)

3.3 ทดสอบอุปกรณ์เปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้งาน

การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดความแรงของการแพร่สัญญาณนี้เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำ เพื่อจะสามารถทำการติดตั้งได้จำนวนมากในพื้นที่ให้บริการบริเวณต่าง ๆ ในงบประมาณที่ไม่สูงมาก แต่ข้อจำกัดคือความแม่นยำในการวัดจะไม่สูงมากและจะมีสัญญาณรบกวนจากคลื่นสัญญาณที่ถูกส่งมาจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ได้ ดังนั้นการปรับแต่งให้เหมาะสมกับความถี่ที่ต้องการวัดและให้เหมาะกับแต่ละพื้นที่ในการติดตั้งจึงมีความจำเป็น โดยต้องมีการปรับแต่งค่าการวัดเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่เครือข่ายสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ใช้งานอยู่ ในทุก ๆ พื้นที่ที่นำเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นไปติดตั้ง เช่นการติดตั้งที่จังหวัดเพชรบุรี มีสถานีวิทยุกระจายเสียงระบบเอฟเอ็มความถี่ 95.75 MHz และมีสถานีวิทยุที่ใช้งานความถี่ข้างเคียงค่อนข้างน้อย โดยทำการเลือกใช้สายอากาศชนิดยากิเพื่อลดผลจากคลื่นความถี่ข้างเคียงที่อาจแพร่มารบกวน และทำการหันสายอากาศไปยังสถานีเพื่อทำการตรวจวัด โดยทีมวิจัยได้ทำการลงพื้นที่เมื่อวันที่ 27 พฤศจิกายน 2560 ดังแสดงในภาพที่ 3 เพื่อทำการทดสอบอุปกรณ์วัดความแรงสัญญาณวิทยุ โดยสถานีดังกล่าวมี

เสาส่งสัญญาณตั้งอยู่บนเขาบันไดอิฐ ถนนเพชรเกษม อำเภอเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี ละติจูด 13.1129 องศา ลองติจูด 99.9347 องศา การสอบเทียบทำโดยเทียบวัดสัญญาณทั้งหมด 10 จุด กระจายตามระยะห่างจากสถานีส่ง และทำการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่เครือข่ายสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย กรมประชาสัมพันธ์ใช้ จุดที่ดำเนินการวัดสัญญาณและผลการวัดแสดงดังตารางที่ 1 ระยะใกล้สุดที่ทำการวัดคือระยะห่าง 450 เมตร ส่วนระยะไกลสุดคือ 19 กิโลเมตร ค่าที่ได้จากการวัดของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานมีแนวโน้มและทิศทางไปทางเดียวกัน จึงสามารถนำอุปกรณ์ที่สร้างนี้เพื่อนำไปพัฒนาต่อเป็นระบบเฝ้าระวังค่าความแรงของสัญญาณได้ ต่อไป

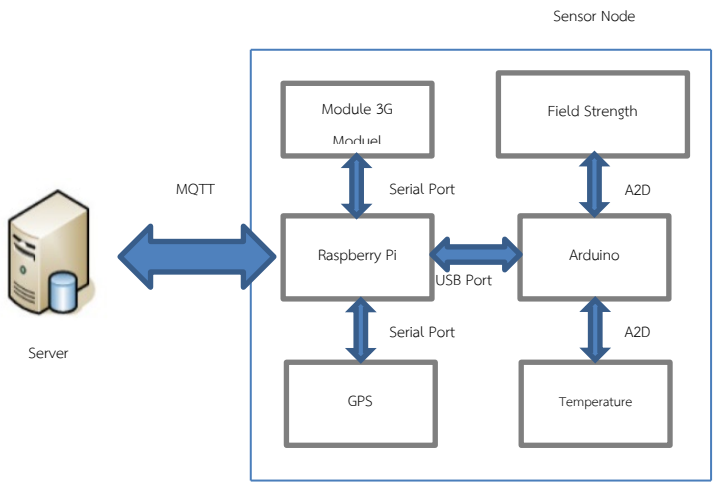
ภาพที่ 3 การลงพื้นที่เพื่อตรวจวัดค่าความแรงของการแพร่สัญญาณ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความเข้มสัญญาณวิทยุอุปกรณ์ AD8310 และ เครื่องมือวัด Anritsu รุ่น ML524B

จุด	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พิกัด	ความเข้มสัญญาณวิทยุ (dBμV/m)	
		ละติจูด, ลองติจูด	Anritsu	AD8310
1	0.45	13.1068, 99.9317	90	88.66
2	1.3	13.1061, 99.9291	63	68.66
3	1.7	13.1138, 99.9393	74	83.66
4	2.7	13.1053, 99.9286	85	89.49
5	3.4	13.1237, 99.9501	80	83.24
6	4.5	13.1271, 99.9563	68	70.74
7	5	13.1305, 99.9603	82	85.74
8	5.2	13.1236, 99.8843	67	72.41
9	9.7	13.1503, 99.8521	60	64.07
10	19	13.2425, 99.8239	45	50.74

3.4 การสร้างระบบเซนเซอร์โนดและการแสดงผล

ทำการติดตั้งเซอร์ฟเวอร์เพื่อสร้างเป็นแม่ข่ายของระบบติดตั้งไว้ที่กรมประชาสัมพันธ์ใช้ระบบปฏิบัติการ Raspberry Pi Kernel V4.9, MQTT Service, Node Red Service, Apache Web Service V2.4.25, My SQL V10.1.26 และ PHP My Admin V4.6.6 DEB4 โครงสร้างของระบบเฝ้าระวังค่าความแรงของสัญญาณแสดงดังภาพที่ 4 ภายในอุปกรณ์เซนเซอร์โนดประกอบด้วยโมดูล AD8310, Arduino, Raspberry Pi และ 3G Communication module



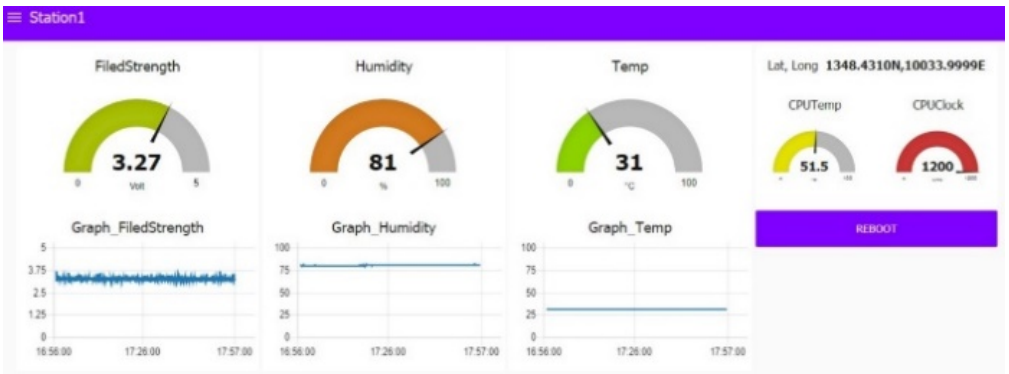
ภาพที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบเซนเซอร์การเฝ้าระวังฯ

4. ผลการทดสอบ

หลังจากทำการสร้างระบบเสร็จพร้อมการปรับแต่งค่าการวัดให้มีค่าใกล้เคียงกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน แล้วจึงทำการนำเซนเซอร์โนดติดตั้งเพื่อทำการทดสอบจำนวน 3 จุด ณ จังหวัดเพชรบุรี ผลการวัดแสดงดังตารางที่ 2 อุปกรณ์วัดสัญญาณเซนเซอร์โนดจะทำการวัดค่าสัญญาณและส่งต่อค่าการวัดไปยังเซอร์ฟเวอร์ที่ติดตั้งไว้ที่กรมประชาสัมพันธ์ ตำแหน่งการติดตั้งอยู่ในระยะห่าง 9.5 กิโลเมตร ถึง 25 กิโลเมตร การแสดงผลการวัดสามารถเรียกดูได้ผ่านสมาร์ทโฟนและเว็ปเบราซ์เซอร์ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 5 ซึ่งสามารถเรียกดูค่าได้ในเวลาจริง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการวัดของอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานจำนวน 5 จุดวัด

จุด	ระยะห่าง (กิโลเมตร)	ความเข้มสัญญาณวิทยุ (dBμV/m)		ความแตกต่าง
		เครื่องมือวัดมาตรฐาน	อุปกรณ์ที่สร้างขึ้น	
1	9.5	52.7	56	6.3 %
2	19	66.4	68	2.4 %
3	25	64.7	65	0.5 %



ภาพที่ 5 ตัวอย่างแสดงผลการวัดค่าที่เรียกดูในเวลาจริง

5. สรุป

ระบบเฝ้าระวังความแรงสัญญาณการออกอากาศวิทยุกระจายเสียงต้นทุนต่ำนี้ได้มีการจัดทำขึ้นเพื่อลดงบประมาณดำเนินการและกำลังเจ้าหน้าที่ในการตรวจวัดค่าความแรงของสัญญาณการออกอากาศ โดยมีต้นทุนในการสร้างโนดชุดละไม่เกิน 2,000 บาทเท่านั้น โดยต้นแบบระบบนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโนดวัดสัญญาณจำนวน 3 ชุด เมื่อนำค่าที่ได้จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นทำการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้งาน ผลการวัดมีค่าความแตกต่าง อยู่ระหว่าง 0.5% – 6.3% ส่วนเซอร์ฟเวอร์ที่ติดตั้งไว้ที่กรมประชาสัมพันธ์ทำหน้าที่เพื่อเก็บค่าที่ได้จากการวัด เมื่อต้องการดูผลการวัดสามารถเรียกดูข้อมูลจากในฐานข้อมูลที่ได้บันทึกไว้ และสามารถดูข้อมูลในเวลาจริงได้ทั้งจากสมาร์ทโฟนและจากคอมพิวเตอร์ ทางคณะผู้วิจัยคาดหวังว่าระบบต้นแบบนี้จะสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อลดค่าใช้จ่ายภายในการดำเนินการตรวจวัดของกรมประชาสัมพันธ์และหน่วยงานอื่น ๆ ได้ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] ITU-R BS.412-9, Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF.

[2] Analog Devices, "Datasheet: AD8310 Fast, Voltage-Out, DC to 440 MHz, 95 dB Logarithmic Amplifier Rev. F," One Technology Way, 2010.

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ

The Bio-diesel Process by Using Low-Pressure Humidity Reducing Machine

อดุลย์ พัฒนภักดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: adual.pa@spu.ac.th
วิทยา พันธ์เจริญศิลป์
อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: vittaya.pa@spu.ac.th
เผชิญ จันทร์สา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: pachern.ja@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วโดยทั่วไปประกอบด้วย การกรองน้ำมันพืชใช้แล้ว การปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้วโดยใช้ความร้อน การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน การแยกกลีเซอรีน การทำความสะอาดด้วยน้ำ และการลดความชื้นโดยใช้ความร้อน

บทความนี้ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในกระบวนลดความชื้นโดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศ เปรียบเทียบกับกระบวนการลดความชื้นภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศ โดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ จากการทดสอบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล 50 ลิตร พบว่ากระบวนการลดความชื้นโดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำใช้เวลาเฉลี่ย 53 นาที ส่วนกระบวนการลดความชื้นของน้ำมันไบโอดีเซลที่สภาวะความดันบรรยากาศ ใช้เวลาเฉลี่ย 83 นาที นอกจากนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลรวมทุกกระบวนการพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้กระบวนการลดความชื้นโดยใช้ความร้อนภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศมีค่าลดลง 16.45 %

คำสำคัญ: ทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ไบโอดีเซล น้ำมันพืชใช้แล้ว ความดันสุญญากาศ

ABSTRACT

A biodiesel processes from waste cooking oil are consist of a filtration process, a heat treatment of waste cooking oil process, a trans-esterification reaction process, a glycerin-biodiesel separation process, a water cleaning process, and a heat treatment of a biodiesel process.

A comparison of an using time between a heat treatment of a biodiesel process at the atmospheric pressure and a heat treatment of a biodiesel process at the vacuum pressure by using a low pressure humidity reducing machine was investigated. From the experiments, the using time for a heat treatment of a biodiesel process at the vacuum pressure by using a low pressure humidity reducing machine was 53 minutes. And also, the using time for a heat treatment of a biodiesel process at atmospheric pressure was 83 minutes. Moreover, the electrical power was decreasing about 16.45 %, for 50 liters biodiesel process with a heat treatment of a biodiesel process at vacuum pressure by using a low pressure humidity reducing machine.

KEYWORDS: Trans-esterification, Biodiesel, Waste Cooking Oil, Vacuum Pressure

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ และสามารถใช้ทดแทนน้ำมันปิโตรดีเซล สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลได้ (นุภาพ แย้มไตรพัฒน์, 2550) น้ำมันไบโอดีเซลที่นิยมผลิตในปัจจุบันเป็นไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ (เมทานอลหรือเอทานอล) ได้ผลลัพธ์เป็นไบโอดีเซลและกลีเซอรีน ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 แสดงปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

ในบทความนี้จะกล่าวถึงการลดเวลาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์จากน้ำมันพืชใช้แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลสำหรับชุมชน เนื่องจากราคาไม่แพงและ เป็นการสร้างทางเลือกที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำมันพืชใช้แล้วจากครัวเรือน (ชินนทัต สินประเสริฐโชคและ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, 2559)

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วจะเริ่มจากการปรับสภาพน้ำมันพืชใช้แล้วโดยการกรองเพื่อนำสิ่งปนเปื้อนออก และไล่ความชื้น ต่อจากนั้นจึงนำมาทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน ที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส โดยผสมน้ำมันพืชใช้แล้วกับแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยา (โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์) หลังจากผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้ว จะได้น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรีน เมื่อทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนกลีเซอรีนแยกชั้นออกจากชั้นน้ำมันไบโอดีเซล ก็ทำการแยกกลีเซอรีนออก แล้วจึงนำน้ำมันไบโอดีเซลเข้าสู่กระบวนการล้างน้ำและลดความชื้นเพื่อปรับคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลให้สามารถใช้งานได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของไบโอดีเซลชุมชน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน

การลดความชื้นเพื่อปรับคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลสามารถกระทำได้หลายวิธี (Lee K. -T., Foglia T., and Chang K.-S., 2002) เช่นการใช้ตัวดูดซับ (Absorbent) การใช้ไอน้ำร่วมกับการพักน้ำมัน (Steam and sedimentation treatment)ฯ แต่วิธีที่ได้รับความนิยมคือการระเหยน้ำออกจากน้ำมัน โดยการเพิ่มอุณหภูมิให้มีค่าสูงกว่าจุดเดือดปกติของน้ำ แต่อย่างไรก็ตามจุดเดือดของน้ำก็มีค่าแปรเปลี่ยนไปกับความดัน โดยที่จุดเดือดของน้ำจะมีค่าต่ำกว่าจุดเดือดปกติที่ความดันต่ำ ในบทความนี้จึงทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นที่ความดันบรรยากาศ เปรียบเทียบกับกรณีที่อยู่ในสภาวะความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

2. วัตถุประสงค์

(1) เพื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการของการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้กระบวนการลดความชื้นที่ความดันบรรยากาศ กับกระบวนการลดความชื้นที่มีเครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

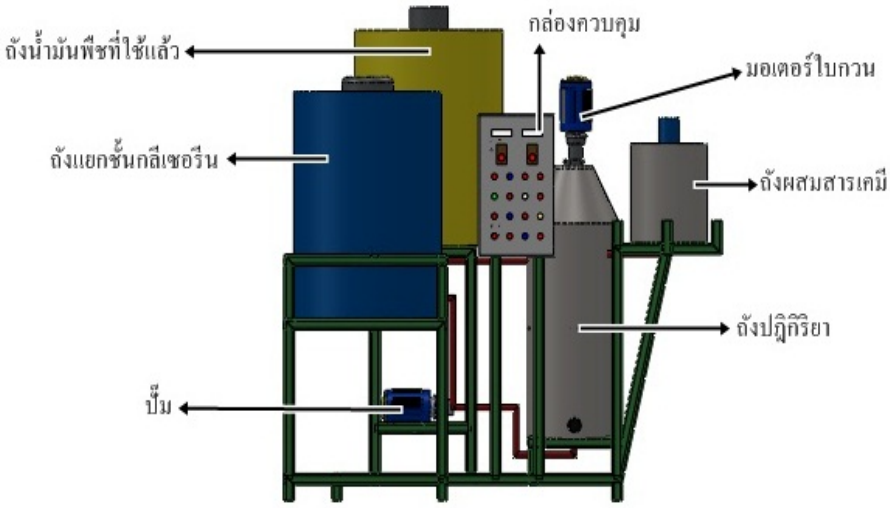
(2) เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนที่มีการผลิตไบโอดีเซล

3. อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้และวิธีการทดสอบ

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

3.1.1 เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

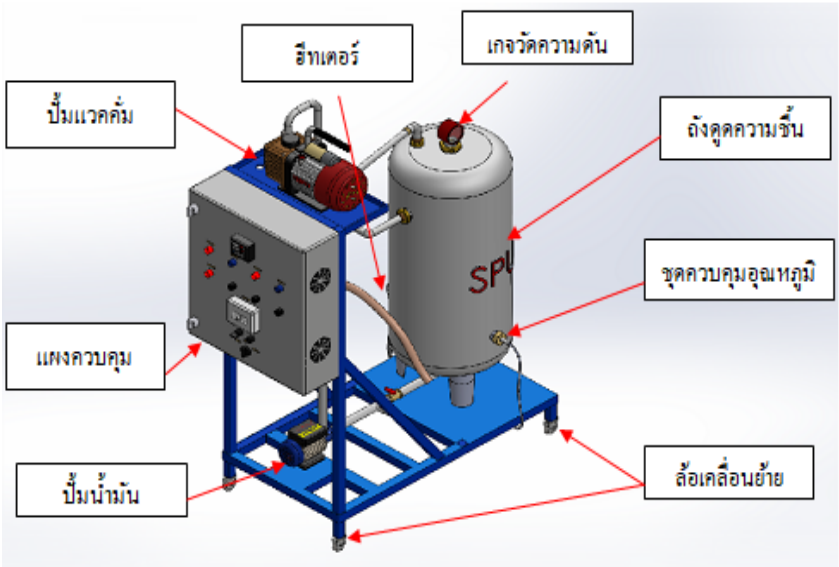
เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่จัดสร้างขึ้นเป็นเครื่องผลิตไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือถังน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ถังผสมสารเคมี ถังปฏิกิริยาพร้อมมอเตอร์ใบกวน ถังแยกชั้นกลีเซอรีน และกล่องควบคุม ทั้งนี้เครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วสามารถใช้ผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วครั้งละ 50 ลิตร



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบเครื่องผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว

3.1.2 เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ

เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ ที่จัดสร้างขึ้น มีส่วนประกอบที่สำคัญ ประกอบด้วย ถังดูดความชื้น ปั๊มน้ำมัน ปั๊มแวคคัม ฮีทเตอร์ เกจวัดความดัน ชุดควบคุมอุณหภูมิ และแผงควบคุมดังแสดงในรูปที่3 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ปั๊มน้ำมันจะทำการดูดน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านขบวนการล้างน้ำแล้วเข้าสู่ถังดูดความชื้น ฮีทเตอร์จะทำหน้าที่ให้ความร้อนกับน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อให้น้ำที่ผสมอยู่ระเหยออก โดยมีชุดควบคุมอุณหภูมิทำหน้าที่ตัดต่อการทำงานของฮีทเตอร์ ส่วนปั๊มแวคคัม จะทำหน้าที่ลดความดันในถังดูดความชื้นเพื่อเร่งการระเหยตัวของน้ำที่ผสมอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซล



รูปที่ 3 แสดงส่วนประกอบเครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ

3.2วิธีการทดสอบ

สำหรับขั้นตอนในการผลิตโบโอดีเซลมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 การเตรียมน้ำมัน

เนื่องจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วจะมีเศษอาหารหรือสิ่งปนเปื้อนติดมาด้วยและยังมีความชื้นอยู่ จึงต้องทำการกรองน้ำมันพืช เพื่อกำจัดเศษอาหารหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมัน ต่อจากนั้นจึงนำน้ำมันที่ผ่านการกรองแล้วจำนวน 50 ลิตรมาให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 60 นาที (อ้างอิงตามคู่มือการผลิตไบโอดีเซลชุมชน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) เพื่อไล่ความชื้นออกจากน้ำมัน (ในขบวนการไล่น้ำนี้จะมีการเปิดมอเตอร์กวนน้ำมันพืชทุก 10 นาที โดยเปิดมอเตอร์ครั้งละ 1 นาที เพื่อให้อุณหภูมิน้ำมันในถังมีค่าสม่ำเสมอกัน)

3.2.2 การปรับสภาพน้ำมัน

ปรับลดอุณหภูมิของน้ำมันพืชใช้แล้วในข้อ 3.2.1 ให้เหลืออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อเตรียมทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน

3.2.3 การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

ผสมสารเคมีที่ประกอบไปด้วยเมทานอล 25% (12.5 ลิตรต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 50 ลิตร) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 6 กรัม ต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 1 ลิตร(0.3 กิโลกรัมต่อน้ำมันพืชใช้แล้ว 50 ลิตร) เพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 60องศาเซลเซียส (.ใช้เวลาประมาณ 30 นาทีสำหรับน้ำมันพืชใช้แล้ว 50 ลิตร)

3.2.4 การแยกกลีเซอรีน

นำน้ำมันที่ผ่านการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแล้ว ทิ้งไว้จนชั้นน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอรีนแยกตัวออกจากกัน จึงทำการแยกกลีเซอรีนออกจากน้ำมันไบโอดีเซล

3.2.5 การล้างน้ำ

ฉีดสเปรย์น้ำผสมเข้าไปในน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากขั้นตอน 3.2.4 แล้วปล่อยให้น้ำกับน้ำมันไบโอดีเซลแยกออกจากกันแล้วจึงปล่อยน้ำที่แยกตัวออกมาทิ้งไป ครั้งแรกน้ำที่ปล่อยทิ้งจะมีลักษณะขาวขุ่น เมื่อดำเนินการฉีดสเปรย์น้ำในครั้งที่สองน้ำก็จะใสขึ้น ให้ดำเนินการทำซ้ำจนสีของน้ำที่ปล่อยทิ้งมีลักษณะใสเหมือนน้ำปกติ (โดยทั่วไปจะดำเนินการล้างน้ำประมาณ 3-4 ครั้ง)

3.2.6 การลดความชื้นด้วยความร้อน

นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำในข้อ 3.2.5 แล้วมาทำการลดความชื้นโดยการให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลเพื่อให้น้ำที่ผสมอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลระเหยแยกตัวออกไป โดยทำการทดสอบสองรูปแบบ โดยรูปแบบแรกเป็นการให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลเพื่อให้น้ำระเหยออกที่ความดันบรรยากาศ และรูปแบบที่สองเป็นการให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซล เพื่อให้น้ำระเหยออกโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ เพื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการลดความชื้นทั้งสองแบบ

4. ผลการทดสอบ

ในการทดสอบเก็บข้อมูลจะทำการผลิตไบโอดีเซลในขั้นตอนที่ 3.2.1-3.2.5 (การเตรียมน้ำมัน การปรับสภาพน้ำมัน การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน การแยกกลีเซอรีน การล้างน้ำ) ในรูปแบบเดียวกันแล้วนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำไปลดความชื้นภายใต้ความดันบรรยากาศ ส่วนที่สองนำไปลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำ โดยทำการทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ได้ผลการทดสอบดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1-3

ตารางที่ 1 แสดงค่าพลังงานและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 รอบการผลิต 50 ลิตร

ขั้นตอน	อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (w)	เวลาใช้งาน (นาที)	kW.h	เวลารวม (นาที)
การเตรียมน้ำมัน	ปั๊ม	375	10	0.0625	90
	ฮีทเตอร์	3000	60	3.0000	
	มอเตอร์	32	6	0.0032	
การปรับสภาพน้ำมัน	-	-	-	-	30
การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน	ฮีทเตอร์	3000	30	1.5000	30
	ปั๊ม	375	30	0.1875	
การแยกกลีเซอรีน	-	-	-	-	180
การล้างน้ำ	-	-	-	-	30
รวม				4.7532	360

พิจารณาจากตารางที่ 1 สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 รอบการผลิตจำนวน 50 ลิตร ขั้นตอนที่ 3.2.1-3.2.5 (การเตรียมน้ำมัน การปรับสภาพน้ำมัน การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน การแยกกลีเซอรีน การล้างน้ำ) มีการใช้พลังงานรวม 4.7532 kW-h และใช้ระยะเวลาในการผลิตรวม 360 นาที (6 ชั่วโมง)

ตารางที่ 2 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการลดความชื้น

ขั้นตอน	การทดสอบ ครั้งที่ 1	การทดสอบ ครั้งที่ 2	การทดสอบ ครั้งที่ 3	เวลาเฉลี่ย
การลดความชื้นแบบถังเปิด ที่ความดันบรรยากาศ	80 นาที	85 นาที	84 นาที	83 นาที
การลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูดความชิ้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	50 นาที	53 นาที	56 นาที	53 นาที

พิจารณาจากตารางที่ 2 สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขั้นตอนที่3.2.6 การลดความชื้นด้วยความร้อน เมื่อทำการการลดความชื้นแบบถังเปิดที่ความดันบรรยากาศจะใช้เวลาเฉลี่ยในการลดความชื้นเป็นเวลา

83 นาที และเมื่อทำการลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะใช้เวลาเฉลี่ยในการลดความชื้นเป็นเวลา 53 นาที

ตารางที่ 3 แสดงค่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในขั้นตอนการลดความชื้น

ขั้นตอน	อุปกรณ์	กำลังไฟฟ้า (w)	เวลาใช้งาน (นาที)	kW.h
การลดความชื้นแบบถังเปิด ที่ความดันบรรยากาศ	ปั๊ม	375	10	0.0625
	ฮีทเตอร์	3000	73	3.6500
การลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูด ความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	ปั๊ม	375	10	0.0625
	ฮีทเตอร์	3000	43	2.1500
	ปั๊มแวคคัม	150	43	0.1075

พิจารณาจากตารางที่ 3 สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลขั้นตอนที่3.2.6 การลดความชื้นด้วยความร้อน เมื่อทำการการลดความชื้นแบบถังเปิดที่ความดันบรรยากาศจะใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 3.7125 kW-h และเมื่อทำการลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศจะใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 2.32 kW-h

5. สรุป

จากข้อมูลผลการทดสอบในตารางที่1-3 สามารถสรุปเวลาเฉลี่ยและพลังงานเฉลี่ยที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 รอบการผลิตจำนวน 50 ลิตร เมื่อทำการการลดความชื้นแบบถังเปิดที่ความดันบรรยากาศและทำการลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงค่าพลังงานและระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล1 รอบการผลิต 50 ลิตร

กระบวนการผลิต	ระยะเวลาเฉลี่ย (นาที)	พลังงานที่ใช้ (kW.h)
กระบวนการผลิตไบโอดีเซล 1 รอบการผลิต โดยใช้การลดความชื้นแบบถังเปิดที่ความดันบรรยากาศ	443	8.4657
กระบวนการผลิตไบโอดีเซล 1 รอบการผลิต โดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศ	413	7.0732

พิจารณาจากตารางที่ 4 สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศใช้เวลาลดลง 30 นาที หรือคิดเป็นเวลาที่ลดลง 6.77% ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต 1 รอบการผลิต ในส่วนของพลังงานที่ใช้สำหรับกระบวนการผลิตไบโอดีโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศ มีค่าลดลง 1.3925 kW-h หรือคิดเป็นค่าพลังงานที่ลดลง 16.45% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิต 1 รอบการผลิต

6. ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบในครั้งนี้ทำการทดสอบลดความชื้นโดยใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศเฉพาะขั้นตอนที่3.2.6 การลดความชื้นของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านกระบวนการล้างน้ำแล้วเท่านั้น ทั้งนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้เครื่องดูดความชื้นความดันต่ำกว่าบรรยากาศกับขั้นตอนที่3.2.1 การเตรียมน้ำมันได้ด้วย (แต่อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้สำหรับการลดความชื้นสำหรับขั้นตอนที่ 3.2.1 นั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพและแหล่งที่มาของน้ำมันพืชใช้แล้ว)

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ได้แก่ นายเกรียงเดช ศรีพิณ นายเฉลิมรัฐ ปาขันแก้ว นายวัชรพงษ์ ถ้ำน้อย, นายยุทธพงศ์ ชัยชิต และนายนพพล อยู่สุขี ที่ช่วยเหลือในการจัดสร้างเครื่องมือทดสอบและเก็บข้อมูลสำหรับการศึกษานี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุมที่มีส่วนสนับสนุนการทดสอบและการนำเสนอบทความในครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

ชินนทัต สินประเสริฐโชคและ เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, “น้ำมันพืชใช้แล้ว: วัตถุดิบเพื่อการผลิตไบโอดีเซล” **วารสารวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์** Vol29. No97. กรกฎาคม –กันยายน 2559, หน้า1-12

นุภาพ แย้มไตรพัฒน์, ” การศึกษาเชิงทดลองการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วกับเครื่องยนต์ดีเซล”. **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 3.** 23-25 พฤษภาคม 2550, โรงแรมใบหยกสกาย กรุงเทพมหานคร

Felizardo P., Neiva Correia M. J., Raposo I., Mendes J. F., Berkemeier R., and Bordado J. M.2006. “Production of biodiesel from waste fry ing oils”, **Waste Management,** Vol. 26 No.5, pp 487-494

Lee K. -T., Foglia T., and Chang K.-S., 20023 “Production of alkyl ester as biodiesel from fractionated lard and restaurant grease” **Journal of the American Oil Chemists’ Society.** Vol. 79. No.2, pp.191-195

การพัฒนาระบบควบคุมการระบายอากาศอัตโนมัติสำหรับห้องปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงานโดยใช้การตรวจจับออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

Improving an Automatic Air Ventilation Control System for Energy Saving Using Oxygen Sensor and Carbon Dioxide Sensor

เอกชัย ดีศิริ ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี และปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

2410/2 ถ.พหลโยธิน แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900: 0-2579-1111

E-mail: akekachai.de@spu.ac.th, thanapat.pr@spu.ac.th, prakit.li@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการพัฒนาชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศสำหรับห้องปรับอากาศ เพื่อแก้ปัญหาการระบายอากาศเกินความจำเป็นออกจากห้องปรับอากาศที่ไม่เหมาะสมกับจำนวนคนที่อยู่ในห้อง การระบายอากาศดังกล่าวได้นำความเย็นออกจากนอกห้องไปด้วยทำให้เครื่องปรับอากาศมีภาระการทำความเย็นมากขึ้น ต้นแบบชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศอัตโนมัติใช้หลักการตรวจวัดออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และนับจำนวนคนที่อยู่ในห้องเพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐานการระบายอากาศ และระดับความปลอดภัยของความหนาแน่นของออกซิเจน ชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศประกอบไปด้วย ชุดตรวจวัดออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ชุดตรวจจับจำนวนคน ชุดตรวจจับความเคลื่อนไหว และชุดปรับความเร็วพัดลม การทำงานจะเริ่มเมื่อมีคนเข้ามาในห้องโดยจะมีชุดตรวจจับความเคลื่อนไหวด้วยอินฟาเรด เพื่อตรวจจับจำนวนคนที่เข้าออกห้อง และตรวจจับออกซิเจนร่วมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยส่งผลไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งให้วงจรควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลมระบายอากาศทำงาน ซึ่งสามารถปรับอัตราการระบายอากาศได้ 4 ระดับ ที่สอดคล้องกับค่ามาตรฐาน และจำนวนคนในห้อง โดยจะมีการตรวจสอบความเคลื่อนไหวภายในห้อง เมื่อไม่มีความเคลื่อนไหวเกิดขึ้นพัดลมระบายอากาศก็จะหยุดการทำงานทันที จากการทดลองในห้องปรับอากาศที่ควบคุมที่อุณหภูมิภายใน 25 ºc ความชื้นสัมพัทธ์ 60% อุณหภูมิภายนอก 35 ºc ความชื้นสัมพัทธ์ 80% พบว่าการในแต่ละระดับการระบายอากาศสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการระบายอากาศเย็นทิ้งได้ประมาณ 15%

คำสำคัญ: พัดลมระบายอากาศ, การระบายอากาศ, การปรับอากาศ

ABSTRACT

This paper presents design and development of air ventilation fan controller for air conditioning room. The purpose is to solve the inappropriate ventilated air from the air conditioning room. The ventilation brings the cooled air out from the room leading to increasing in air conditioner loading. The ventilation fan controlled use oxygen sensor, carbon dioxide sensor the number of residents and room temperature for controlling the ventilation fan incidence to the ventilating standard. The controller includes resident counter, thermometer, and fan speed controller, which operating when the sensor detect oxygen, carbon dioxide out of standard and sensor detect the resident entrance or exit the room. The counter, consisted of infrared sensor and display, sends the signal to microcontroller for controlling fan speed. The controller provides 4 level of ventilation in accordance to the number of residents. In addition, the ventilation fan is stopped when motion is not detected in the room. The controller was experimented in 25°C setting temperature of air condition room with room humidity of 60%, the ambient temperature of 35°C, and humidity of 80%. The result shown that, by adjusting the ventilation level, the electricity consumption could be reduced by 15 %.

KEYWORDS: Ventilation fan, Ventilation, Air Conditioning

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การใช้พัดลมระบายเพื่อระบายอากาศให้กับห้องปรับอากาศเพื่อให้ได้อากาศที่เหมาะสมสำหรับห้องปรับอากาศ ซึ่งการระบายอากาศโดยทั่วไปแล้วไม่ได้คำนึงถึงปริมาณการระบายอากาศมากนัก โดยขณะที่พัดลมระบายอากาศนอกจากจะทำการระบายอากาศเสียออกจากห้องแล้วยังได้นำความเย็นออกจากห้อง ทำให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนักตลอดเวลาและปริมาณอากาศระบายไม่เหมาะสมตามมาตรฐานการระบายอากาศ ปริมาณอากาศระบายที่มากเกินมาตรฐานการระบายอากาศ จากอัตราการระบายอากาศของห้องแต่ละประเภททำให้มีการนำความเย็นออกนอกห้องเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศที่ต้องทำงานเพิ่มขึ้น ในบทความนี้มีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบและวิเคราะห์การระบายอากาศที่เหมาะสม โดยการตรวจวัดระดับออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับห้องปรับเพื่อการประหยัดพลังงานโดยใช้ระบบควบคุม การระบายอากาศอัตโนมัติที่สร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบการทำงานจริงและนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไปกับอากาศเย็นทิ้งเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานให้เหมาะสมต่อไป

2. การระบายอากาศและพัดลมระบายอากาศ

2.1 การระบายอากาศ

การระบายอากาศ หมายถึง การจัดการเคลื่อนย้ายอากาศด้วยปริมาณที่กำหนดให้ไหลไปทิศทางและด้วยความเร็วที่ต้องการ สามารถกำจัดมลพิษ ความร้อน ความชื้น กลิ่นรบกวน ควันและอื่นๆ ให้ออกไปจากที่ปฏิบัติงานและให้อากาศบริสุทธิ์เข้ามาแทนการระบายอากาศเป็นการควบคุมมลพิษทางอากาศโดยปกติคนเราจะหายใจเอาอากาศเข้าไปด้วยอัตราประมาณ 6 ลิตรต่อนาทีแต่ถ้าทำงานหนักจะใช้อากาศ 50 ลิตรต่อนาที

การทำงานในห้องที่ปิดทึบไม่มีการระบายอากาศเลยเป็นสิ่งที่ไม่ถูกสุขลักษณะของห้องเหล่านี้ เช่น ห้องพัก ห้องสำนักงาน ห้องอาหาร ห้องน้ำ ห้องเรียน อาคารจอดรถ ตลอดจน ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ถึงแม้ว่าจะมีระบบปรับอากาศให้อยู่ในสภาวะที่ต้องการแล้วก็ตาม กิจกรรมที่เกิดอยู่ภายในห้องนั้นอาจก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศขึ้นได้ จึงควรมีระบบระบายอากาศอย่างพอเพียงเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ทำงานในห้องนั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์จะยิ่งมีแหล่งกำเนิดมลพิษต่าง ๆ ได้มากมาย ที่อาจเกิดการสะสมของสารปนเปื้อนในอากาศจนอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้ห้องได้สามารถคำนวณอัตราการระบายอากาศดังสมการที่ 1 [1]

$$Q = \frac{Hs}{60\, Cp \rho dT} \qquad (1)$$

Q = อัตราการระบายอากาศที่ต้องการ (ft^3/min)

Hs = Sensible Heat (BTU/hr)

Cp = ความร้อนจำเพาะของอากาศ (BTU/lb ^{0}F)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (lb/ ft^3)

dT = ความแตกต่างอุณหภูมิภายในและภายนอก (^{0}F)

2.2 พัดลมระบายอากาศ

พัดลมระบายอากาศในที่นี้หมายถึง พัดลมที่มีใบพัดตั้งแต่ 3 ใบขึ้นไปใช้มอเตอร์หมุนโดยตรงโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส แรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 250 โวลต์ ความถี่กำหนด ไม่เกิน 50 เฮิรตซ์ ติดไว้เพื่อจุดประสงค์ในการระบายอากาศ เช่น ที่ผนังห้อง เพดาน ฯลฯ การใช้งานเฉพาะภายในอาคาร หรือสถานที่อื่นโดยมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายคลึงกัน ในการระบายอากาศเสียภายในห้องออกสู่ภายนอกห้อง หรือการระบายอากาศดีจากภายนอกห้องเข้ามาภายในห้องวิธีการระบายอากาศที่ดีต้องคำนึงถึงการประหยัดพลังงานด้วย จะต้องให้มีพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศจริง ๆ ให้น้อยที่สุด นอกนั้นเป็นพื้นที่ส่วนที่ไม่จำเป็น การระบายอากาศอาจใช้วิธีการธรรมชาติก่อน ถ้าไม่พอจริง ๆ จึงใช้การระบายอากาศแบบทางกล เช่น การใช้พัดลมไฟฟ้าซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามาก เพราะต้องเปิดใช้ตลอดเวลาขณะใช้ห้อง แต่ก็สามารถควบคุมการใช้งานได้ง่าย มีขนาดพัดลมหลากหลายให้เลือกใช้ตามความต้องการของห้อง

การที่จะนำอากาศบริสุทธิ์จากภายนอกมาใช้ สำหรับระบายอากาศจำนวนทั้งหมดเท่าใดนั้นขึ้นกับปัจจัยทางกายภาพเช่น อุณหภูมิ ชนิดของระบบจ่ายลมและความเร็วลม อย่างไรก็ตามการทำงานของระบบจ่ายลมขึ้นกับชนิดของอาคารและประโยชน์ใช้สอย เนื้อที่อาคาร ความสูงของห้องพื้นที่หน้าตัดและประเภทของการอาศัย

ตารางที่ 1 ปริมาณอากาศระบายมาตรฐานสำหรับใช้ระบายอากาศในห้องปรับอากาศ [1]

ประเภทของห้องปรับอากาศ	ปริมาณอากาศระบาย (CFM)	
	ต่ำสุด	แนะนำ
ห้องเรียน	10	10 - 15
หอประชุม	5	5 - 7.5
ห้องนอน	5	5 - 7
ห้องสมุด	7	10 - 12
สำนักงาน	15	15 - 25

การตรวจวัดระดับของออกซิเจน ด้วยการใช้ออกซิเจนเซนเซอร์ และนำผลที่ได้จากการวัดมาประมวลผลเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลของการลดลง ของระดับออกซิเจนในหน่วยความจำ จนกระทั่งการลดลงถึงระดับที่มีผลกระทบต่อสุขภาพดังนี้ สลบทันที ถ้าในบรรยากาศไม่มีออกซิเจนอยู่เลย จากนั้นประมาณ 2-3 นาที จะสิ้นชีวิต หรือหมดสติอย่างช้า ๆ ถ้าเกิดการขาดอากาศ เนื่องปริมาณออกซิเจนค่อยๆ ลดลงอย่างช้า ๆ โดยแบ่งอัตราการขาดอากาศเป็น 4 ระดับ

ระดับที่ 1 ออกซิเจนลดลงจาก 21 % เหลือ 17% โลหิตจะได้รับออกซิเจนน้อยลงกว่าปกติ จะหายใจลึกและถี่ขึ้น ความสามารถในการนึกคิดช้าลง การบังคับกล้ามเนื้อและร่างกายการกระทำได้ไม่ค่อยสะดวก

ระดับที่ 2 ออกซิเจนลดลงจาก 17% เหลือ 10% ไม่สามารถคิดอะไรได้ หมดสติไม่มีความรู้สึกต่อการเจ็บปวดกล้ามเนื้อกระตุกถี่

ระดับที่ 3 ออกซิเจนลดลงจาก 10% เหลือ 6% มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ไม่สามารถบังคับให้กล้ามเนื้อเคลื่อนไหวแม้แต่กระทั่งยืน หรือ คลาน ก็ทำไม่ได้ มาถึงระยะนี้ไม่มีสติพอที่จะรู้ว่าอะไรเป็นอะไรแล้ว อาการทั้งหมดเห็นได้ชัดในระยะนี้ แต่ก็ไม่มีทางแก้ไข และถึงแม้ว่าจะได้รับการรักษาพยาบาลแต่สมองถูกทำลายหมดแล้ว

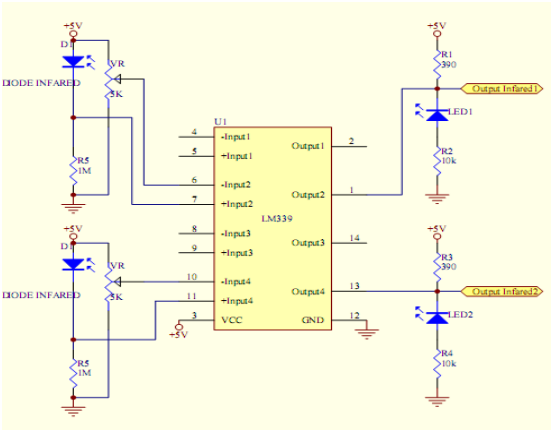
ระดับที่ 4 ออกซิเจนลดลงต่ำกว่า 6% อ้าปากค้าง เริ่มชักกระตุกและหยุดการหายใจ หัวใจเต้นต่อไปอีกสัก 2-3 นาที ก็สิ้นชีวิต

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วงจรนับจำนวนคน

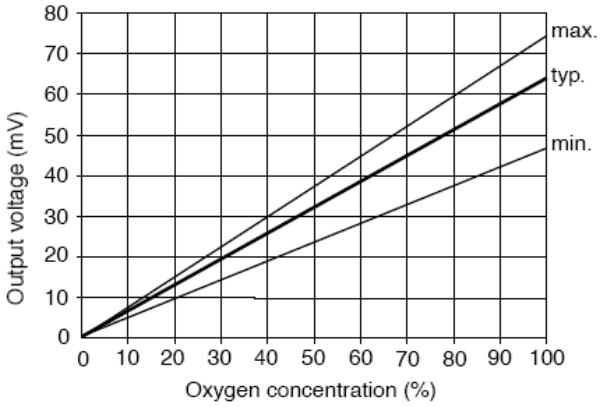
ทำหน้าที่นับคนเข้า-ออกจากห้อง วงจรนี้จะทำงานโดยการเปรียบเทียบแรงดันในสภาวะที่มีคนเดินผ่านระหว่างภาครับและภาคส่งจะมีการเปรียบเทียบแรงดัน โดยเอาท์พุทที่ออกจากวงจรนี้จะมีสัญญาณ LOW วงจรตรวจนับคนเข้าและคนออก ใช้หลักการง่ายๆ คือ จะแสดงสถานะโดยใช้ LED เมื่อมีความเคลื่อนไหวเกิดขึ้นตัดผ่านเซนเซอร์ LED จะติด วงจรนี้จะทำงานโดยจ่ายไฟ 5 V_{DC} เข้ามาในวงจร ซึ่งเซนเซอร์จะมี 2 ตัว คือ ตัวรับ

สัญญาณและตัวส่งสัญญาณ ส่งสัญญาณไปยังชุดหน่วงเวลาและส่งสัญญาณไปไมโครคอนโทรลเลอร์[3] เพื่อแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD โครงสร้างและการจัดสร้างชุดนับจำนวนคนดังรูปที่ 2



รูปที่ 1 วงจรเซนเซอร์รับแสงอินฟาเรด

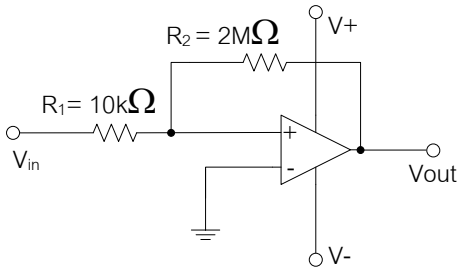
3.2 การตรวจวัดออกซิเจน



รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของออกซิเจน (Oxygen Concentration) กับ แรงดันเอาท์พุทของเซนเซอร์ (Sensor Output)

จากรูปที่ 2 แรงดันเอาท์พุทสูงสุดที่ได้จากเซนเซอร์ จะมีค่าอยู่ที่ 12 .5 mV เมื่อนำเซนเซอร์ไปใช้งานต้องได้รับการขยายแรงดันเพิ่มขึ้น 200 เท่า จะทำให้แรงดันเอาท์พุท ที่ความหนาแน่นของออกซิเจน 21 % มีค่าเท่ากับ 2.5 V และจะมีค่าลดลงเป็นเชิงเส้นตามลำดับ[4] จากนั้นแรงดันเอาท์พุทจะส่งไปยัง ภาคแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

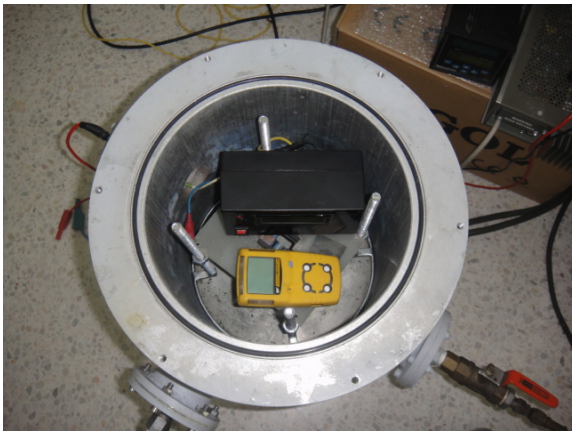
3.3 การออกแบบการเชื่อมต่อออกซิเจนเซนเซอร์ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เป็นวงจรขยายแรงดัน โดยใช้ไอซีเบอร์ LF353 ซึ่งเป็นออปแอมป์ เพื่อขยายแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากออกซิเจนเซนเซอร์ ขณะที่ตรวจวัดปริมาณออกซิเจนได้ 21 % โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 12.5mV ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จะต้องถูกส่งต่อไปยังส่วนของ การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ดังนั้นจำเป็นต้องขยายแรงดันให้เพียงพอต่อภาคอินพุทของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ในที่นี้ต้องทำการขยายถึง 200 เท่า จะทำให้แรงดันเอาท์พุทเพิ่มเป็น 2.5 โวลต์ และจะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงโดยมีลักษณะเป็นเชิงเส้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ทำการวัด

3.4 การทดสอบการตรวจวัดออกซิเจน



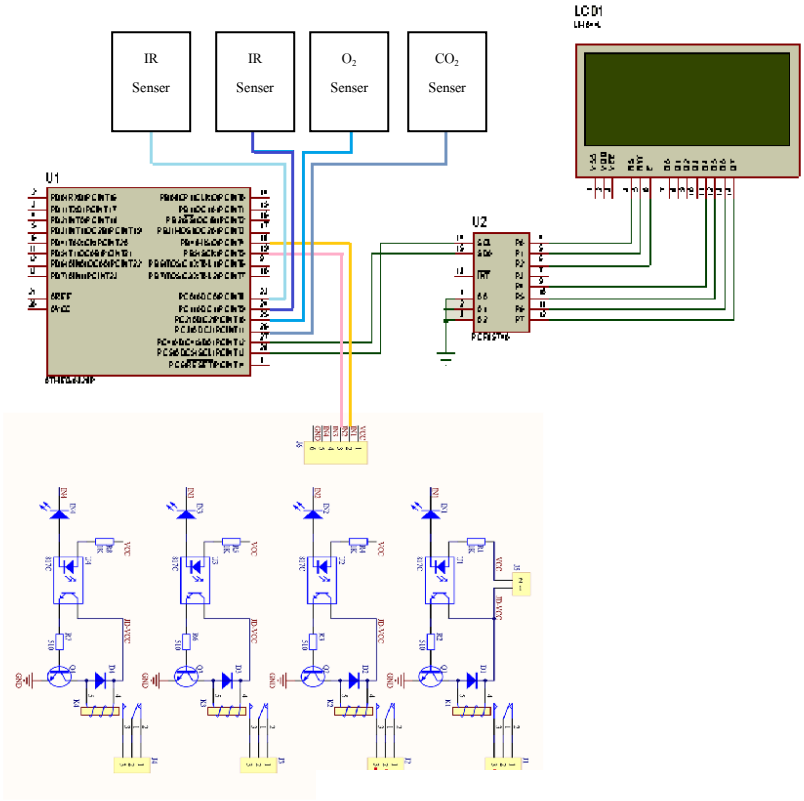
รูปที่ 4 การทดสอบการทำงานของเครื่องวัดที่ออกแบบเปรียบเทียบกับ GasAlert MicroClip

การทดสอบในรูปที่ 4 เป็นการทำงานของเครื่องวัดที่ออกแบบเปรียบเทียบกับ GasAlert MicroClip ในภาชนะปิดเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง โดยการใช้เครื่องมือดูดอากาศออกเพื่อทำให้ระบบไม่มีออกซิเจน

3.5 การออกแบบชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศ

การออกแบบและจัดสร้างชุดควบคุมพัดลมระบาย ในงานวิจัยจะประกอบไปด้วยชุดนับจำนวนคน ชุดตรวจจับความเคลื่อนไหวและชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศ ชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศนี้จะเริ่มทำงานเมื่อมีคนเข้า-ออก ในห้อง โดยจะมีชุดตรวจนับจำนวนคนเข้าและออกเป็นตัวกำหนดให้พัดลมระบายอากาศทำงานที่ระดับอัตราการระบายอากาศต่างกัน 4 ระดับ โดยการทำงานจะสอดคล้องกับจำนวนคน และการตรวจวัด

ออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่อยู่ในห้องมีวงจรควบคุมต่าง ๆ ตามรูปที่ 5 และรายละเอียดการออกแบบดังนี้



รูปที่ 5 ชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศ

3.6 ชุดควบคุมความเร็วรอบพัดลมระบายอากาศ

ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์พัดลมระบายอากาศซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเฟสเดียวแบบสปลิทเฟสทำงานที่ระดับอัตราการระบายอากาศต่างกัน 4 ระดับ ตามที่ออกแบบไว้โดยใช้หลักการควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีการลดแรงดัน ความเร็วของมอเตอร์จะถูกกำหนดด้วยจุดตัดระหว่างเส้นกราฟของแรงบิดกับความเร็วรอบของมอเตอร์ตัดกับเส้นกราฟของแรงบิดกับความเร็วของโหลด

3.7 ชุดตรวจจับความเคลื่อนไหว

ทำหน้าที่ตรวจจับความเคลื่อนไหวเมื่อมีสิ่งมีชีวิตอยู่ในรัศมีที่โมดูลตรวจจับความเคลื่อนไหวสิ่งมีชีวิตจะแผ่รังสีความร้อนออกมาโมดูลตรวจจับความเคลื่อนไหวจะรับรังสีความร้อน แล้วขยายสัญญาณแล้วส่งผ่านวงจรเปรียบเทียบแล้วส่งสัญญาณพัลส์ออกมาทางเอาท์พุท และส่งสัญญาณนี้ออกไปใช้งานและเมื่อไม่มีคนอยู่ในห้อง จะมีการตรวจสอบความเคลื่อนไหวในห้อง เมื่อไม่มีความเคลื่อนไหวพัดลมระบายอากาศก็จะหยุดการทำงานทันทีในงานวิจัยนี้โมดูลตรวจจับความเคลื่อนไหวรุ่น SILA-MP10M

4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์ในการทดสอบเพื่อพิสูจน์การทำงานและวัดความเร็วลมของชุดพัดลมระบายอากาศในแต่ละความเร็วของพัดมเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการระบายอากาศในแต่ละระดับความเร็วโดยมีผลการทดลองดังนี้

(1) สามารถตรวจนับคนเข้าออกได้

(2) สามารถปรับระดับความเร็วพัดลมระบายอากาศได้ 4 ระดับ

(3) สามารถตรวจจับคนในรัศมี10 เมตรและหยุดการทำงานของพัดลมระบายอากาศได้เมื่อไม่มีคนอยู่

(4) สามารถตรวจจับเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยแสดงผลออกทางจอ LCD

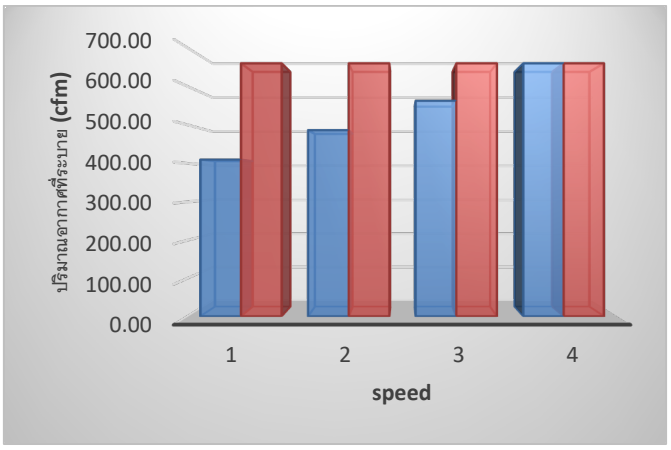
ตารางที่ 2 ระดับออกซิเจนที่วัดได้ภายในภาชนะปิด และทำระบบสุญญากาศ

ระดับออกซิเจนที่เป็นอันตราย	จำนวนการทดสอบ					ค่าเฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	
17-21%	20.6	20.5	20.6	20.5	20.5	20.5
10-17%	15.6	15.8	16.0	15.9	15.8	15.8
6-10%	8.5	8.8	8.7	9.0	8.9	8.7
ต่ำกว่า 6%	5.7	5.6	5.7	5.7	5.8	5.7

ตารางที่ 3 ปริมาณอากาศระบายอากาศในแต่ละระดับของพัดลมที่ออกแบบและค่าพลังงานไฟฟ้าจากการสูญเสียลมเย็นที่ทิ้งออกจากห้อง

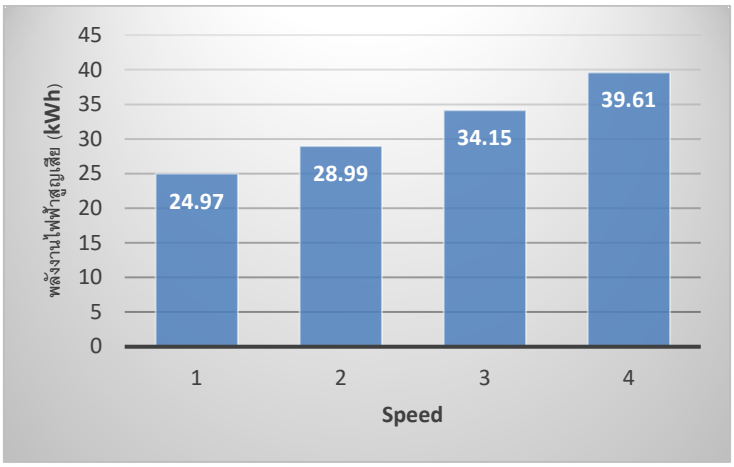
Speed	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)	ปริมาณอากาศที่ระบาย (cfm)	เหมาะสำหรับคน (จำนวนคน)	พลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (kWh)
1	2.15	409.72	0-27	24.97
2	2.55	485.94	28-32	28.99
3	2.95	562.17	33-37	34.15
4	3.46	659.36	38-43	39.61

จากผลการทดสอบในตารางที่ 3 ทำให้เราทราบถึงระดับการระบายอากาศ 4 ระดับที่เหมาะสม กับจำนวนคนในแต่ละระดับ สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 6 เป็นกราฟเปรียบเทียบปริมาณอากาศที่ระบายของพัดลมระบายอากาศแบบปรับ speed กับแบบ speed เดียว (อ้างอิงจากมาตรฐานการระบายอากาศสำหรับห้องเรียนที่ปริมาณอากาศระบาย 15 cfm.)



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบปริมาณอากาศที่ระบายของพัดลมระบายอากาศแบบปรับ speed กับแบบ speed เดียว

จากผลการทดสอบการทำงานตามตารางที่ 3 นำข้อมูลอัตราการระบายอากาศในแต่ละระดับความเร็ว นำไปคำนวณการสูญเสียความเย็นตามหลักการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าคำนวณมาจากค่าลมเย็นที่ทิ้งออกจากห้องภายในเวลา 10 ชม. ที่อุณหภูมิภายใน 25 °c ความชื้นสัมพัทธ์ 60% RH อุณหภูมิภายนอก 35 °c ความชื้นสัมพัทธ์ 80%RH มาจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามมาตรฐานประเทศไทย ซึ่งแสดงผลการคำนวณตามตารางที่ 3 สามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าจากการคำนวณการสูญเสียลมเย็นที่ทิ้งออกจากห้อง

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าการในแต่ละระดับการระบายอากาศสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการระบายอากาศเย็นทิ้งได้ประมาณ 15%

5. สรุปผลการวิจัย

จากการทดสอบชุดควบคุมพัดลมระบายอากาศและวิเคราะห์ผลการสูญเสียพลังงานไปกับการระบายอากาศทำให้เราได้ข้อสรุปว่าควรมีการควบคุมอัตราการระบายอากาศให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงมากที่สุดอาจเกิดความยุ่งยากแต่ถ้ามองในแง่ของภาพรวมการสูญเสียพลังงานอาจมีจุดคุ้มทุนภายในระยะสั้นอีกทั้งยังช่วยให้ประเทศมีความมั่นคงทางพลังงาน

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การนำไปใช้งาน อาจต้องมีการปรับปรุงค่าต่างๆ ของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม เช่น ขนาดห้อง ขนาดเครื่องปรับอากาศ ขนาดพัดลมระบายอากาศเป็นต้น

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

การทดสอบกับสภาพแวดล้อมจริงต่าง ๆ ที่มีความสมดุลกับการออกแบบเพื่อบันทึกผลและวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับผลจากการวิจัย เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาปรับปรุงต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ และภาควิชาเครื่องกลฯ มหาวิทยาลัยศรีปทุม รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน ที่ส่งเสริม สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] ผศ.สุรพล พฤกษพานิช "หลักการและระบบการปรับอากาศ" พิมพ์ครั้งที่ 2 สถานที่พิมพ์ : หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ 2529.

[2] รศ. ยืน ภู่วรวรรณ "ทฤษฎีและการงานอิเล็คทรอนิคส์ " เล่มที่ 1 พิมพ์ครั้งที่ 14 สถานที่พิมพ์: บริษัท ซีอ็ดยูเคชั่น จำกัด 2530.

[3] ธีรวัฒน์ ประกอบผล "การประยุกต์ช์งานไมโครคอนโทรลเลอร์" พิมพ์ครั้งที่ 1 สถานที่พิมพ์: บริษัทประชาชน จำกัด 2540.

[4].Figaro Engineering Inc.(2005). Technical Information For KE-Series (Online) Available: http://www.figarosensor.com/product/O2.pdf [2012, June 10]

[5]. D. Arenius, D. Curry, A. Hutton, K. Mahoney, S. Prior, H. Robertson, “INVESTIGATION OF PERSONAL AND FIXED HEAD OXYGEN DEFICIENCY HAZARD MONITOR PERFORMANCE HELIUM GAS”, Thomas Jefferson National Accelerator Facility (JLAB), Virginia, 23606, USA

[6].www.oxygraf.com, “Oxygen Deficiency Detector Applications“ and ”Oxygen properties”, Oxygraf, USA.

พฤติกรรมโครงสร้างของป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ที่มีการเชื่อมต่อกัน

STRUCTURAL BEHAVIOUR OF CONNECTING LARGE BILLBOARD STRUCTURES

ธนะพล กิจชาญไพบูลย์

นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail : topgun_ce@hotmail.com

เกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย

ผู้ช่วยศาสตรจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail : griengsak@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอ ผลของการเชื่อมต่อกันของโครงสร้างป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ต่อพฤติกรรมการต้านทานแรงลม อ้างอิงจากมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร พ.ศ. 2550 (มยผ.1311-50) โดยการเชื่อมต่อกันของป้ายโฆษณาจำนวน 2 และ 3 ป้ายตามลำดับ ใช้ป้ายโฆษณาชนิดโครงถักขาคู่ ขนาดความสูง 15 เมตร กว้าง 32 เมตร และเสายาว 15 เมตร สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธียืดหยุ่นเชิงเส้น รวมถึงพิจาณาผลของ P-Delta ร่วมด้วย ผลการศึกษาพบว่า ป้ายโฆษณาที่ได้รับการเชื่อมต่อกันจำนวนมากขึ้นส่งผลให้ค่าแรงภายในชิ้นส่วนบริเวณฐานของเสามีค่ามากขึ้นตามลำดับ และยังส่งผลให้ป้ายโฆษณาเกิดการเสียรูปที่มากขึ้นตามลำดับเช่นกัน โดยผลของแรงกระทำภายในบริเวณฐานของเสามีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 24-37 เปอร์เซ็นต์ และการเสียรูปมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 2-24 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของแรงภายในและการเสียรูปนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนียสำคัญ

คำสำคัญ: ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ / การเชื่อมต่อป้ายโฆษณา / แรงลม / โครงถัก

ABSTRACT

This paper presents the effect of connecting large billboards to wind resistance behavior using the DPT Standard 1311-50 for wind loading calculation and response of building. The two and three billboards were connected in this study. The single billboard is a double column truss structure having 30 meters of height, 32 meters of width, along with 15 meters of column height. Structural models were created by commercial software and analyzed by linear elastic method considering P-Delta effect. The findings showed that the connecting large billboards have an increase in member forces around the column base for 24-37 percent, as well as an increase in

displacement at its top for 2-24 percent. Therefore, connecting more large billboards has a significant impact on structural behavior of the large billboards.

KEYWORDS: Large Billboard / Connecting Large Billboard / Wind Force / Truss

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ในประเทศไทยได้เกิดการพังทลายลงมาหลายครั้งภายหลังพายุฝนฟ้าคะนอง ก่อให้เกิดอันตราย คือ มีการต่อเติมหรือเชื่อมติดป้ายโฆษณาที่ได้รับการออกแบบให้เป็นป้ายเดี่ยวแต่ถูกนำไปก่อสร้างเป็นป้ายโฆษณาที่มีความต่อเนื่อง ให้มีขนาดใหญ่ เป็นจุดสนใจ และง่ายต่อการมองเห็นเพื่อผลประโยชน์ในการโฆษณาซึ่งส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการรับแรงลมของโครงสร้างที่เปลี่ยนไปซึ่งอาจมีความปลอดภัยที่ลดลง และอาจมีความเสี่ยงต่อการนำไปสู่การวิบัติของโครงสร้างได้เนื่องจากป้ายถูกออกแบบมาให้รับแรงลมแบบป้ายเดี่ยวรวมถึงป้ายโฆษณาขนาดใหญ่ที่ถูกติดตั้งแล้วเสร็จก่อนกฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดตั้งป้ายตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร พ.ศ. 2558 กระทรวงมหาดไทย (2558) มีความเสี่ยงต่อการวิบัติเนื่องจากขนาดของแผ่นป้ายที่ใหญ่เกิดกว่ามาตรฐานกำหนดเช่นกัน นอกจากนี้ สุวรรณสาม คีรีวิเชียร (2546) ได้ทำการศึกษาวิจัยพบว่าป้ายที่ตั้งอยู่เหนือพื้นดินหรืออยู่บนเสาเมื่ออัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของป้ายมากขึ้นสัมประสิทธิ์ของแรงลมจะมากขึ้นตาม และ วรรณรดา อิทธิไชโย และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างป้ายโฆษณาต้านทานแรงลม โดยเป็นการทดสอบภายในอุโมงค์ลมจำนวนทั้งสิ้น 9 แผ่นป้ายและใช้ข้อมูลแรงลมที่มีอยู่ในมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์พบว่า แรงผลักที่เกิดขึ้นมีค่ามากเกินกว่ากำลังความต้านทานที่โครงสร้างสามารถรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับการวิบัติที่เกิดขึ้นจริง ที่โดยส่วนใหญ่แล้วมักเกิดการหักโค่นเนื่องจากแรงผลักขึ้นที่บริเวณหัวเสาหรือจุดรองรับของเสานั่นเอง

2. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

(1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์แรงลมที่กระทำต่อป้ายโฆษณาตาม มยผ.1311-50

(2) เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางโครงสร้างที่เปลี่ยนไปจากการเชื่อมต่อป้ายโฆษณา

3. ขอบเขตการศึกษา

(1) โครงสร้างป้ายโฆษณามีลักษณะเป็นโครงถักชนิดเสาคู่

(2) มุ่งเน้นศึกษาในเรื่องของการเสียรูป และแรงภายในชิ้นส่วนที่เกิดจากแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง

(3) เลือกใช้ขนาดของป้ายโฆษณาใหญ่สุดตามกฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดตั้งป้ายตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร พ.ศ.2558 กำหนดเอาไว้ คือ มีความสูงป้ายรวมโครงสร้างไม่เกิน 30 เมตร และมีความยาวไม่เกิน 32 เมตร

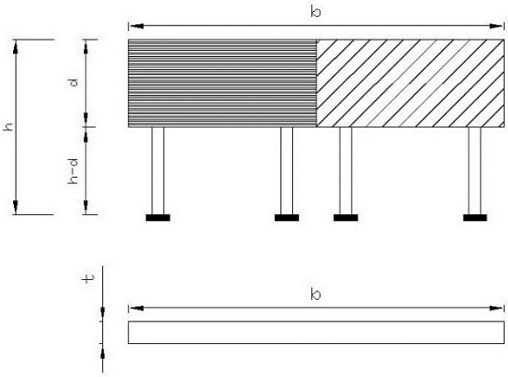
(4) จำลองการเชื่อมต่อป้ายโฆษณาจำนวน 2, 3 แผ่นป้ายโดยใช้โปรแกรม SAP2000 ด้วยวิธียืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic Method)

(5) เลือกใช้กลุ่มความเร็วลมอ้างอิงสูงสุดซึ่งอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย เท่ากับ 29 เมตรต่อวินาที

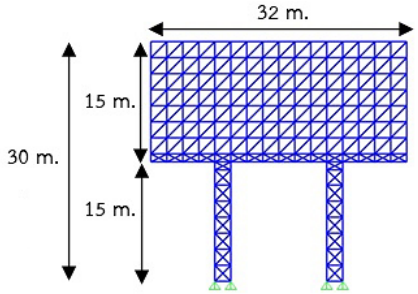
(6) การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาถึงรายละเอียดที่เกี่ยวกับรอยเชื่อมของโครงสร้างเหล็ก และฐานรองรับโครงสร้างป้ายโฆษณาที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. วิธีดำเนินการศึกษา

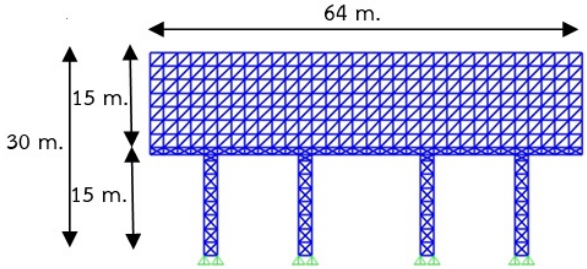
การวิจัยครั้งนี้เป็นการจำลองโมเดลตัวอย่างเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางโครงสร้างของป้ายโฆษณาที่เปลี่ยนไปเนื่องจากแรงลม ซึ่งประกอบไปด้วยการเสียรูปและแรงภายในชิ้นส่วนของป้ายโฆษณาขนาดใหญ่หลายป้ายที่ถูกเชื่อมต่อกัน โดยป้ายโฆษณาแต่ละแบบจะมีขนาดของป้ายดังแสดงตามรูปที่ 1 และ ตารางที่ 1 สามารถแบ่งตัวอย่างออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ป้ายโฆษณาชนิดโครงถักขาคู่ ขนาดความสูง 15 เมตร กว้าง 32 เมตร และเสายาว 15 เมตร เชื่อมต่อกันจำนวน 2 และ 3 ป้าย ดังแสดงตามรูปที่ 2, 3 และ 4 กล่าวคือป้ายโฆษณารูปแบบนี้มีความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดการวิบัติใกล้เคียงกับเหตุการณ์จริง ซึ่งจะทำให้ทราบถึงพฤติกรรมและรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างที่เราต้องการศึกษา



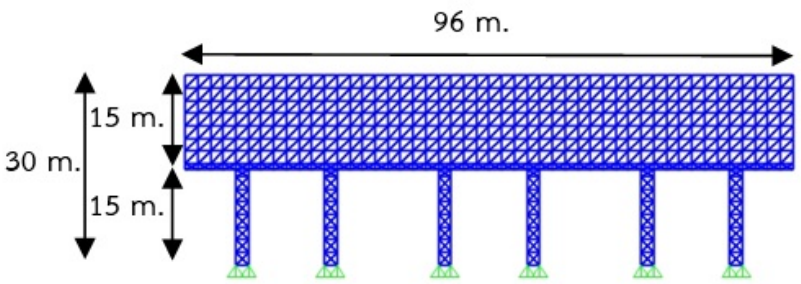
รูปที่ 1 แสดงรูปแบบและตัวแปรขนาดของป้ายโฆษณาที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 2 ป้ายเดี่ยวชนิดโครงถักขาคู่ ขนาดความสูง 15 เมตร กว้าง 32 เมตร และเสายาว 15 เมตร



รูปที่ 3 ป้ายเดี่ยวชนิดโครงถักขาคู่ 2 ป้ายเชื่อมต่อกันขนาดความสูง 15 เมตร กว้าง 64 เมตร เสายาว 15 เมตร



รูปที่ 4 ป้ายเดี่ยวชนิดโครงถักขาคู่ 3 ป้ายเชื่อมต่อกัน ขนาดความสูง 15 เมตร กว้าง 96 เมตร และเสายาว 15 เมตร

ตารางที่ 1 ขนาดของป้ายโฆษณาที่ใช้ในการศึกษา

จำนวนป้าย	ลักษณะเสา	ความสูง(m.)			ความกว้างป้าย (m.)	d/h	b/d	t (m.)
		ทั้งหมด h	ป้าย d	เสา h-d				
1,2,3	คู่	30	15	15	32	0.5	2.13	2

การวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อศึกษาผลกระทบของแรงลมที่มีต่อป้ายโฆษณานี้ เป็นการใช้วิธีการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการใส่แรงกระทำที่เกิดจากแรงลมลงบนโครงสร้าง ซึ่งแรงลมดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากมาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร (มยผ.1311-50) โดยมาตรฐานฉบับใหม่นี้ได้มีการคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ ความเร็วลมอ้างอิงในเขตต่างๆ รูปร่างของอาคาร และคุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ เพื่อให้ค่าหน่วยแรงลมที่ผู้คำนวณออกแบบมีความถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงอันก่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด โดยนอกจากนี้ป้ายโฆษณายังถูกจัดอยู่ในหมวดของโครงสร้างที่มีลักษณะพิเศษของมาตรฐานซึ่งมีข้อกำหนดสำหรับวิธีการคำนวณแรงลมไว้โดยเฉพาะ โดยหน่วยแรงลมสุทธิสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และได้มาซึ่งผลของแรงลมดังตารางที่ 2

$$p = Iw\, q\, Ce\, Cg\, Cp \tag{1}$$

โดย p คือ หน่วยแรงลมสถิตเทียบเท่า

Iw คือ ค่าประกอบความสำคัญของแรงลมโดย ป้ายโฆษณาถูกจัดอยู่ในประเภทของอาคารความสำคัญแบบปกติ โดยเลือกใช้ค่าสภาวะจำกัดด้านกำลัง เท่ากับ 1

q คือ หน่วยแรงลมอ้างอิงเนื่องจากความเร็วลม

Ce คือ ค่าประกอบเนื่องจากสภาพภูมิประเทศ โดยตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองกำหนดให้ป้ายตั้งอยู่ที่สภาพภูมิประเทศแบบชานเมือง หรือพื้นที่ที่มีต้นไม้ใหญ่หนาแน่น หรือบริเวณศูนย์กลางเมืองขนาดเล็ก

Cg คือ ค่าประกอบเนื่องจากผลการกระโชกของลม สำหรับป้ายโฆษณามีค่าเท่ากับ 2.35

Cp คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงลมที่กระทำภายนอกอาคาร โดยป้ายต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงลมทั้งในกรณีที่ทิศทางลมตั้งฉากกับแผ่นป้าย และในกรณีที่ขอบป้ายด้านซ้ายหรือขวามีทิศทางลมทำมุมเฉียง 45 °

ตารางที่ 2 แรงลมที่กระทำกับป้ายโฆษณา

ชนิดของเสา	b (m.)	ความสูง(m.)			หน่วยแรงลมสุทธิ (นิวตันต่อตารางเมตร)		
		h	d	h-d	ตั้งฉาก	1.9Cpa	0.1Cpa
คู่	32	30	15	15	1,650	3,136	165
คู่	64	30	15	15	1,650	3,136	165
คู่	96	30	15	15	1,650	3,136	165

กรณีที่ขอบป้ายชี้เข้าหาลม (1.9Cpa) คือ Cp จะเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยถึง 90% ในบริเวณขอบที่หันเข้าหาลม หรือ กรณีที่ขอบป้ายด้านที่ไม่ได้ชี้เข้าหาลม (0.1Cpa) คือ ค่า Cp จะลดลงจากค่าเฉลี่ยถึง 90% ในบริเวณขอบอีกด้านหนึ่ง

จากการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์โดยป้ายโฆษณาใช้หลักการในการจำลองเป็นแบบจำลองโครงถักสามมิติ (3D TRUSS MODEL) โดยคิดน้ำหนักโครงสร้างของแผ่นป้ายและมีแรงกระทำกับโครงสร้างเนื่องจากแรงลมตามมาตรฐาน มยผ.1311-50 และใช้จุดรองรับที่มุมของเสาด้านริมซ้ายแต่ละต้นเป็นแบบ Pin Support ดังแสดงในรูปที่ 5 ทำให้ผู้วิจัยสามารถทราบถึงค่าหน่วยแรงสูงสุดภายในชิ้นส่วน (Maximum Internal Element Force) ที่เกิดขึ้นจากแรงลมทั่วทั้งโครงสร้างของป้ายโฆษณา รวมถึงผลของการเสียรูปที่เกิดขึ้นจริง (Deformation From P-Delta Effect) ซึ่งเกิดจากการที่ป้ายโฆษณาได้รับแรงกระทำทางด้านข้างเนื่องจากแรงลมมากกว่าปกติทำให้เกิดผลของโมเมนต์ที่เพิ่มขึ้น

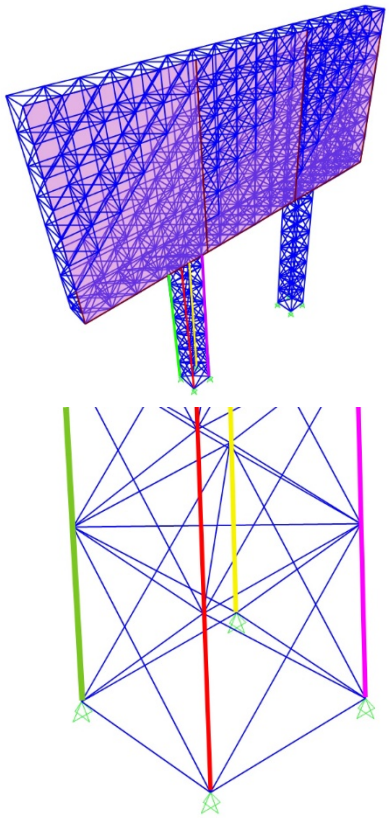
5. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะได้จากการนำออกค่าแรงภายในชิ้นส่วนโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างสำเร็จรูป ซึ่งพิจารณาผลของแรงที่เกิดจากแรงลมในลักษณะที่มีค่าสัมประสิทธิ์ Cp ในกรณีขอบด้านซ้ายของป้ายชี้เข้าหาลม โดยเมื่อทำการทดสอบทำให้ได้ค่าแรงดึงสูงสุดในชิ้นส่วน (Maximum Internal Tension Forces) และค่าแรงอัดสูงสุดในชิ้นส่วน (Maximum Internal Compression Forces) โดยชิ้นส่วนเสาหลักของโครงสร้างจะถูกแบ่งออกเป็นหลายกลุ่มได้โดยตัวย่อและแถบสี ดังต่อไปนี้

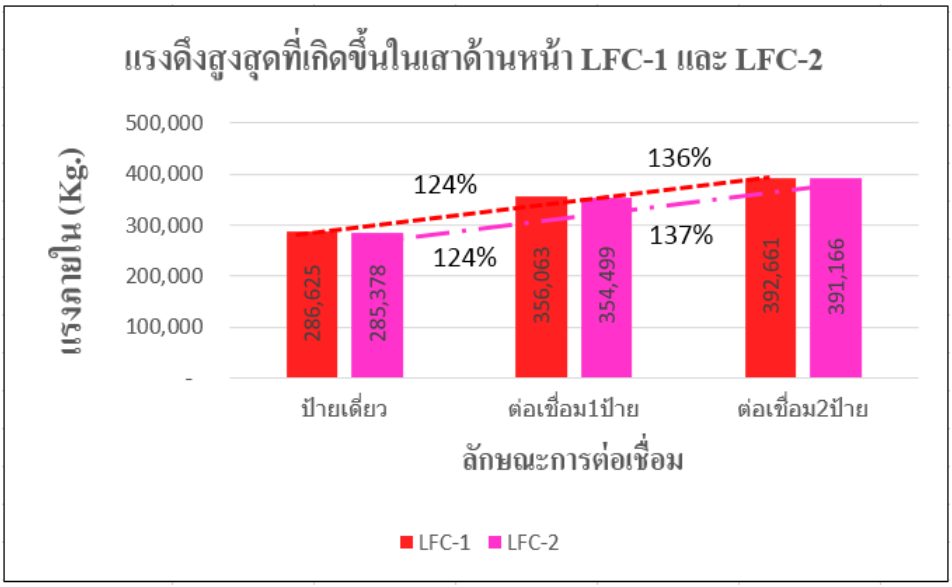
ชิ้นส่วนโครงเสาหลักด้านซ้ายหน้าต้นที่ 1 (LEFT FRONT COLUMN 1) คือ LFC-1
ชิ้นส่วนโครงเสาหลักด้านซ้ายหน้าต้นที่ 2 (LEFT FRONT COLUMN 2) คือ LFC-2
ชิ้นส่วนโครงเสาหลักด้านซ้ายหลังต้นที่ 1 (LEFT BACK COLUMN 1) คือ LBC-1
ชิ้นส่วนโครงเสาหลักด้านซ้ายหลังต้นที่ 2 (LEFT BACK COLUMN 2) คือ LBC-2

ซึ่งในแต่ละกลุ่มของชิ้นส่วนนั้นจะสามารถนำไปสร้างเป็นกราฟที่ใช้ในการอธิบายถึงแนวโน้มของแรงลัพธ์ในชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นได้ โดยผลที่ได้จากการจำลองแรงลมที่กระทำกับโครงสร้างป้ายโฆษณาพบว่า แรงภายในสูงสุดที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณฐานของเสาป้ายโฆษณาในด้านที่รับแรงแบบไม่สมมาตร (กรณีที่

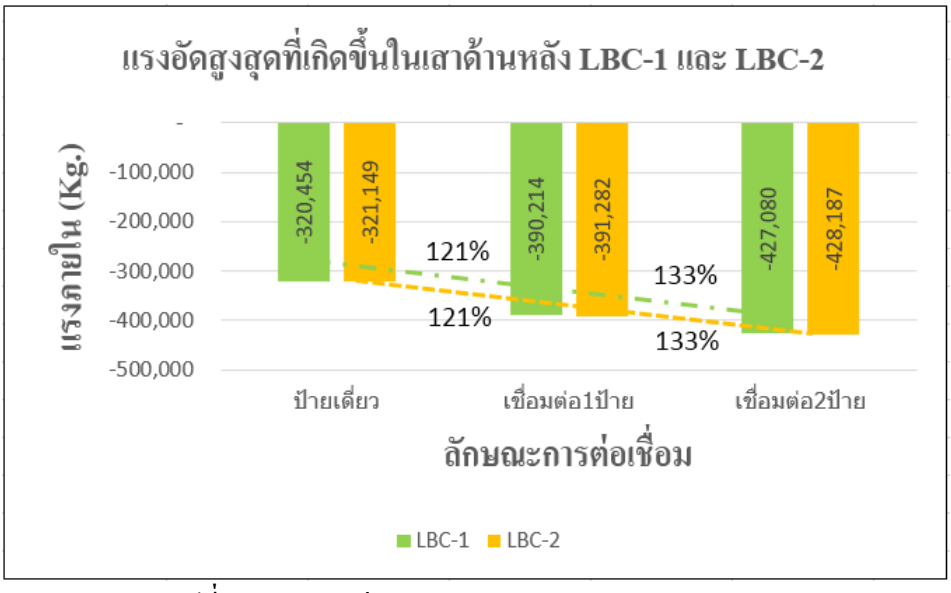
ขอบป้ายด้านซ้ายชี้เข้าหาลม แรงลมจะเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยถึง 90%) ซึ่งสามารถแสดงผลได้จากตารางและกราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ตำแหน่งเสาป้ายโฆษณาชนิดโครงถักขาคู่ด้านริมซ้าย



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าแรงดึงสูงสุดของเสา LFC-1 และ LFC-2



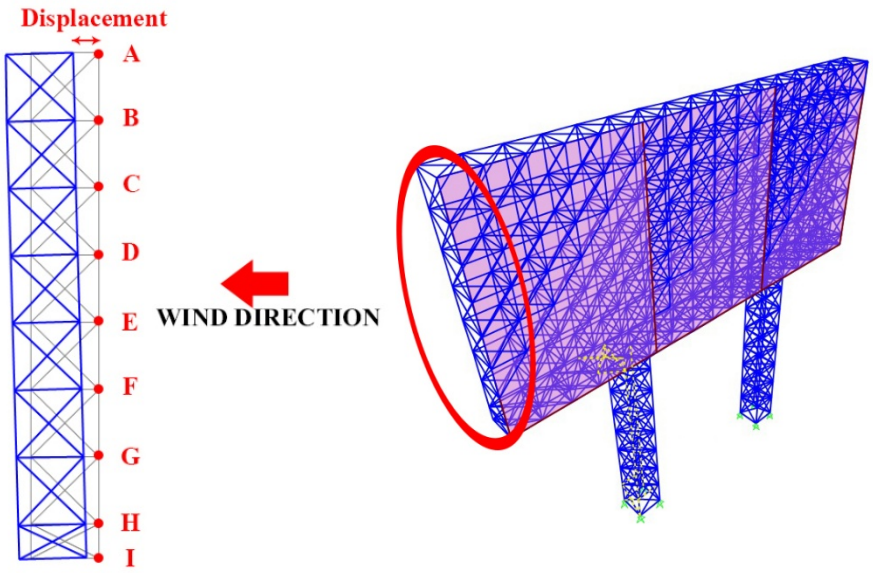
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่าแรงอัดสูงสุดของเสา LBC-1 และ LBC-2

ตารางที่ 3 สรุปค่าแรงภายในชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นของโครงสร้างเสาป้ายโฆษณาบริเวณฐานเสา

เสา	ลักษณะการชื่อต่อมของป้ายโฆษณา / แรงภายในสูงสุด (กิโลกรัม)				
	ป้ายเดี่ยว	การเชื่อมต่อ 2 ป้าย	การเชื่อมต่อ 3 ป้าย	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากป้ายเดี่ยวถูกเชื่อมต่อ 2 ป้าย	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากป้ายเดี่ยวถูกเชื่อมต่อ 3 ป้าย
LFC-1	286,624	356,062	392,660	124 %	136 %
LFC-2	285,378	354,499	391,165	124 %	137 %
LBC-1	-320,454	-390,214	-427,080	121 %	133 %
LBC-2	-321,148	-391,282	-428,186	121 %	133 %

จากผลการทดลองแสดงค่าแรงภายในชิ้นส่วนที่เพิ่มขึ้นของโครงสร้างเสาป้ายโฆษณาบริเวณฐานเสา พบว่า แรงภายในชิ้นส่วนของเสาด้านริมซ้ายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อป้ายโฆษณาได้รับการเชื่อมต่อจากป้ายเดี่ยวเป็น 2 ป้ายและ 3 ป้ายตามลำดับ นอกจากนี้ชุดกลุ่มเสาขอบริมซ้ายทางด้านหลังของป้ายโฆษณา นั่นคือ LBC-1 และLBC-2 มีแรงอัดที่เกิดขึ้นมากกว่าแรงดึงที่เกิดขึ้นของเสา LFC-1 และเสา LFC-2 ซึ่งเป็นเสากลุ่มด้านหน้าในทุกกรณีของการเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักบรรทุกคงที่ร่วมกับโมเมนต์ดัดเนื่องจากแรงลมแบบไม่สมมาตรอันก่อให้เกิดการเสียรูปของโครงสร้างป้ายโฆษณาไปทางด้านหลัง ทั้งนี้เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของแรงในเสากลุ่ม LFC เนื่องจากป้ายเดี่ยวถูกเชื่อมต่อ 2 ป้ายมีค่า 124 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 136 เปอร์เซ็นต์ที่การเชื่อต่อ 3 ป้าย เสากลุ่ม LBC เนื่องจากป้ายเดี่ยวถูกเชื่อมต่อ 2 ป้ายมีค่า 121 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นเป็น 133 เปอร์เซ็นต์ที่การเชื่อมต่อ 3 ป้าย เป็นผลมาจากพื้นที่ของหน่วยแรงลมสุทธิแบบเยื้องศูนย์ซึ่งขอบป้ายฝั่งซ้ายชี้เข้าหาลม (1.9Cpa) มีพื้นที่รับแรงที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อการต่อเชื่อมมีความยาวมากขึ้นจึงก่อให้เกิดแรงกระทำที่มากขึ้น

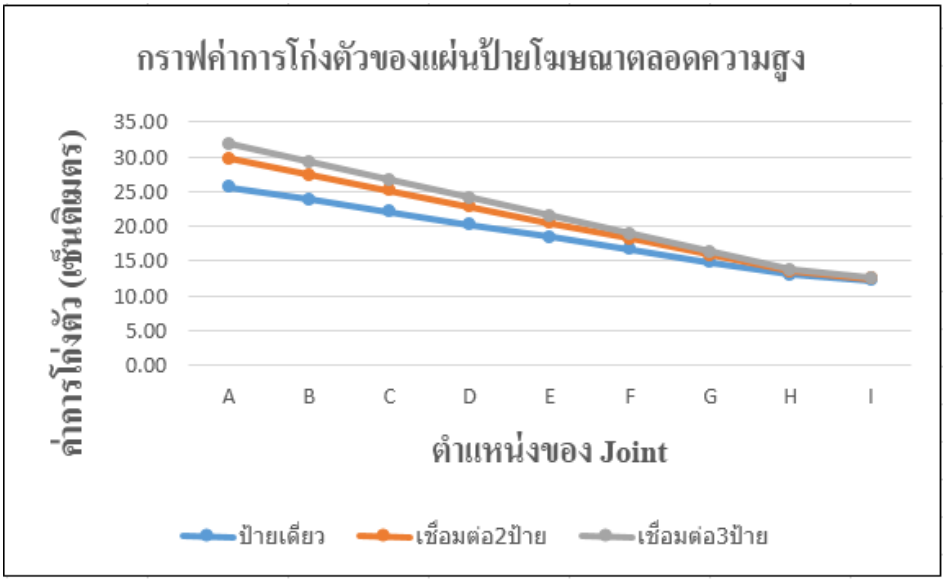
ตามลำดับ นอกจากนี้ในเสากลุ่ม LFC และ LBC มีค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของแรงใกล้เคียงกันในทุกกรณีการเชื่อมต่อทั้ง 2 ป้ายและ 3 ป้าย เนื่องจากเสากลุ่ม LFC และ LBC มีลักษณะเป็นเสาแบบขาคู่ ดังนั้นความสามารถในการรับแรงกระทำเนื่องจากการเยื้องศูนย์ของแรงลมจึงมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 8 จุดที่เกิดการโก่งตัวของโครงสร้างป้ายโฆษณาตลอดความสูง

ตารางที่4 สรุปค่าเปอร์เซ็นต์การโก่งตัวของโครงสร้างป้ายโฆษณาตลอดความสูง

Joint	ค่าการโก่งตัว (เซ็นติเมตร)			เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของป้ายเดี่ยว	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากป้ายเดี่ยวถูกเชื่อมต่อ 2 ป้าย	เปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากป้ายเดี่ยว ถูกเชื่อมต่อ 3 ป้าย
	ป้ายเดี่ยว	เชื่อมต่อ 2 ป้าย	เชื่อมต่อ 3 ป้าย			
A	25.59	29.70	31.81	100 %	116 %	124 %
B	23.82	27.40	29.25	100 %	115 %	123 %
C	22.03	25.10	26.67	100 %	114 %	121 %
D	20.24	22.79	24.09	100 %	113 %	119 %
E	18.44	20.47	21.51	100 %	111 %	117 %
F	16.64	18.15	18.93	100 %	109 %	114 %
G	14.84	15.84	16.36	100 %	107 %	110 %
H	13.05	13.54	13.79	100 %	104 %	106 %
I	12.16	12.40	12.51	100 %	102 %	103 %



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าการโก่งตัวของโครงสร้างป้ายโฆษณาตลอดความสูง

จากผลการทดลองแสดงค่าการโก่งตัวของโครงสร้างป้ายโฆษณาตลอดความสูงดังแสดงในรูปที่ 8 (จุดสีแดงตั้งแต่ A-I คือ ตำแหน่งเดิมของแผ่นป้ายก่อนการเสียรูปเนื่องจากแรงลม) พบว่า ป้ายโฆษณามีค่าการโก่งตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับการเชื่อมต่อจากป้ายเดี่ยวเป็น 2 ป้ายและ 3 ป้าย โดยเมื่อป้ายโฆษณาได้รับการเชื่อมต่อให้มีความยาวมากขึ้น พื้นที่รับแรงลมจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งพื้นที่รับแรงลมดังกล่าวได้รับผลกระทบจากแรงลมแบบเยื้องศูนย์มากระทำ กล่าวคือ ป้ายเดี่ยวมีพื้นที่รับแรงลมแบบเยื้องศูนย์น้อยสุด และป้ายที่ได้รับการเชื่อมต่อ 3 ป้าย มีพื้ที่รับแรงลมแบบเยื้องศูนย์มากที่สุด (กรณีที่ขอบป้ายด้านซ้ายชี้เข้าหาลม (1.9Cpa) คือ Cp จะเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าเฉลี่ยถึง 90% ในบริเวณขอบที่หันเข้าหาลม) ส่งผลให้โมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นและก่อให้เกิดการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นตามลำดับเมื่อป้ายได้รับการเชื่อมต่อ ดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 9 นอกจากนี้ยังพบว่า ตำแหน่งที่เกิดการโก่งตัวสูงสุดในทุกกรณีของการเชื่อมต่อ คือ ตำแหน่ง Joint A หรือบริเวณยอดป้าย ซึ่งมีค่ามากถึง 29.70 เซ็นติเมตรที่การเชื่อมต่อ 2 ป้าย คิดเป็น 116 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับป้ายเดี่ยว และ 31.81 เซ็นติเมตรที่การเชื่อมต่อ 3 ป้าย คิดเป็น 124 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับป้ายเดี่ยว

6. สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าความยาวของป้ายโฆษณาที่ได้รับการเชื่อมต่อให้มีความยาวมากขึ้นมีผลต่อแรงภายในชิ้นส่วนที่เกิดขึ้นของกลุ่มเสาทางด้านริมซ้าย และค่าการเสียรูปของป้าย ดังต่อไปนี้

1. แรงดึงสูงสุดเกิดขึ้นในเสา LFC-1 มีค่าเท่ากับ 392,660 กิโลกรัมที่การเชื่อมต่อ 3 ป้าย ซึ่งเพิ่มขึ้นมากถึง136 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับป้ายเดี่ยว

2. แรงอัดสูงสุดเกิดขึ้นในเสา LBC-2 มีค่าเท่ากับ -428,186 กิโลกรัมที่การเชื่อมต่อ 3 ป้าย ซึ่งเพิ่มขึ้นมากถึง 133 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับป้ายเดี่ยว

3. ป้ายโฆษณาเกิดการเสียรูปตลอดความสูง มีค่าอยู่ระหว่าง 12-31 เซ็นติเมตรซึ่งคิดเป็น 102 - 124 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับป้ายเดี่ยว

จึงสามารถสรุปได้ว่า ด้วยปัจจัยทั้งสองอย่างนี้ นั่นคือ แรงภายในเสาและค่าการเสียรูปที่เพิ่มขึ้น อาจส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการรับแรงลมของโครงสร้าง รวมถึงความปลอดภัยที่ลดน้อยลงมีและความเสี่ยงต่อการวิบัติ ด้วยเหตุนี้การเชื่อมต่อป้ายโฆษณาจึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาแรงภายในและค่าการเสียรูปที่เกิดขึ้นในกระบวนการออกแบบ ซึ่งกรณีที่มีการเชื่อมต่อมากกว่า 3 ป้ายขึ้นไปนั้นค่าของแรงภายในมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

7. เอกสารอ้างอิง

กรมโยธาธิการและผังเมือง .2550. มยผ.1311-50 มาตรฐานการคำนวณแรงลมและการตอบสนองของอาคาร, บริษัท เอส.พีเอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร.

กฎกระทรวงว่าด้วยการควบคุมป้ายหรือสิ่งที่สร้างขึ้นสำหรับติดตั้งป้ายตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร พ.ศ. 2558, กระทรวงมหาดไทย, ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 132 ตอนที่ 33 ก วันที่ 24 เมษายน 2558.

สุวรรณสาม คีรีวิเชียร .2546. แรงลมสำหรับการออกแบบป้ายโฆษณา, งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 28, เมษายน 2547, หน้า 86.

วรรณรดา อิทธิไชโย นเรศ ลิมสัมพันธ์เจริญ .2559. วิธีความเชื่อถือได้ในการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างป้ายโฆษณาต้านทานแรงลม, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 21 วันที่ 28-30 มิถุนายน 2559 จ.สงขลา, หน้า 186-192.

การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ฟิล์มชีวภาพบนเส้นใยกรอง

Removal of nitrogen and phosphorus using SBR systems with biofilm fixed on filter mat

กิตติชนม์ เรืองศรี ภัทรนาวิก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: Kittichontang@gmail.com

สุริยะกิจ ย่อมมี

อาจารย์ประจำ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: Suriyakit@yahoo.com

บทคัดย่อ

การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ฟิล์มชีวภาพบนเส้นใยกรองในการศึกษานี้เป็นการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มี COD ความเข้มข้น 400 มก./ล ไนโตรเจน (TKN) 40 มก./ล และฟอสฟอรัส 5 มก./ล โดยเปรียบเทียบการใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอย (suspended growth) และจุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (attached growth) ที่ใช้ใยกรอง PVC เป็นตัวกลาง พร้อมทั้งแปรผันรูปแบบการเติมอากาศต่างกัน 3 แบบคือ รูปแบบที่ 1 เติมอากาศ 10 ชม. แล้วหยุดเติมอากาศ 8 ชม.(10:8), รูปแบบที่ 2 เติมอากาศ 5 ชม. แล้วหยุดเติมอากาศ 4 ชม. ต่อเนื่องกัน 2 รอบ (5:4-5:4) และรูปแบบที่ 3 เติมอากาศ 4 ชม. หยุดเติมอากาศ 4 ชม. เติมอากาศ 1 ชม. ต่อเนื่องกัน 2 รอบ (4:4:1-4:4:1) ผลการศึกษาพบว่าทั้งระบบ SBR แบบธรรมดาและที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ สามารถกำจัดค่าความสกปรกในรูป BOD และ COD ได้ใกล้เคียงกันทั้ง 3 รูปแบบการเติมอากาศ โดยสามารถกำจัด BOD และ COD ได้ในช่วงร้อยละ 92.4-98.8 และ 86.0-100.0 ตามลำดับ ส่วนผลการกำจัดธาตุอาหารนั้นพบว่าในการกำจัด TKN ระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะมีประสิทธิภาพในช่วงร้อยละ 88.7-98.8 ซึ่งสูงกว่า SBR แบบธรรมดาที่มีประสิทธิภาพในช่วงร้อยละ 83.3-98.7 เมื่อทดสอบด้วยสถิติ Paired-t Test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ส่วนการกำจัด TP นั้นพบว่าระบบ SBR แบบจุลินทรีย์แขวนลอยและแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะ มีประสิทธิภาพในการกำจัด TP ได้ใกล้เคียงกันโดยการเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และ 3 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้ทั้งหมด

คำสำคัญ: ระบบเอสบีอาร์, ฟิล์มชีวภาพ, เส้นใยกรอง

ABSTRACT

The nitrogen and phosphorus removal using biofilm fixed on filter mat in this study was aimed to remove 400 mg/L COD, 40 mg/L nitrogen as TKN, and 5 mg/L phosphorus as TP in synthetic domestic wastewater comparing between suspended growth-SBR and attached growth-SBR system using PVC filter mat as the media. The three aeration time patterns, including pattern No.1-10 hr. aeration and 8 hr. non-aeration (10:8), pattern No.2- 5 hr. aeration and 4 hr. non-aeration with one more repeated cycle (5:4-5:4), and pattern No.3- 4 hr. aeration, 4 hr. non-aeration and 1 hr. aeration with one more repeated cycle (4:4:1-4:4:1) were also studied. The results showed that both suspended growth and attached growth systems, with all aeration time patterns, could remove BOD and COD similarly with 92.4-98.8% and 86.0-100.0% efficiency, respectively. Attached growth-SBR system yielded more TKN removal efficiency with 88.7-98.8% which had significant difference ($p<0.05$) compared with 83.3-98.7% of another one. Both suspended growth and attached growth systems yielded similar TP removal efficiency which the aeration pattern No.2 and No.3 yielded 100% TP removal efficiency.

KEYWORDS: Biofilm, filter mat, SBR

1. บทนำ

การเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวของชุมชนเมืองที่มากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในกิจวัตรประจำวัน เช่น การอาบน้ำ การขับถ่าย การซักล้าง ฯลฯ เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเสื่อมลง น้ำเสียดังกล่าวนี้เรียกว่า น้ำเสียชุมชน ซึ่งสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียชุมชนนั้นมีองค์ประกอบหลักเป็นสารอินทรีย์และธาตุอาหารทำให้น้ำเน่าเสีย โดยธาตุอาหารในน้ำที่สำคัญคือไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งหากมีมากในแหล่งน้ำจะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและเกิดการย่อยสลายซากพืชเพิ่มมากขึ้นจนปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงอย่างมาก เรียกว่าปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (eutrophication) ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544) ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการใช้ประโยชน์จึงมีความสำคัญ ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR) นิยมนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เนื่องจากระบบนี้มีถังเติมอากาศและถังตกตะกอนเป็นถังเดียวกันทำให้ใช้พื้นที่น้อย สามารถบำบัดธาตุอาหารได้ดีโดยใช้ปริมาณสารเคมีต่ำ และมีประสิทธิภาพสูง (วรุทัย เดชตานนท์, 2544) โดยระบบเอสบีอาร์มีขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอนคือ การเติมน้ำเสีย (fill), การบำบัด (react) ซึ่งเป็นช่วงการเติมอากาศเพื่อบำบัดน้ำเสีย, การตกตะกอน (settle) เพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำเสียที่บำบัดแล้ว, การถ่ายน้ำทิ้ง (Draw) และการพักระบบ (idle) อย่างไรก็ตามการใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอย (suspended growth) มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้น้อยกว่าจุลินทรีย์แบบยึดติดบนตัวกลาง (attached growth) (Sirianuntapiboon และ Yommee, 2006) เนื่องจากตัวกลางช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับจุลินทรีย์ที่มาเกาะจนเกิดเป็นชั้นฟิล์มชีวภาพ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) โดยตัวกลางที่นิยมใช้ เช่น หินกรวด ไบโอบอล เส้นใยกรอง อย่างไรก็ตามหินกรวด และไบโอบอลมีพื้นที่ผิวต่ำกว่าเส้นใยกรอง โดยใยกรองมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงถึง 530 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร

(อรัญญา อัศวอารีย์, 2561) ทั้งนี้ในการควบคุมระบบ SBR นอกจากควบคุมค่า pH, MLSS, ออกซิเจนละลายแล้ว ในการบำบัดธาตุอาหารยังต้องควบคุมสัดส่วนระยะเวลาการเติมอากาศด้วย โดยงานวิจัยของ สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์ (2547) บำบัดไนโตรเจนจากน้ำทิ้งโรงอาหาร ภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยแปรผันอัตราส่วนจำนวนชั่วโมงการเติมอากาศ : หยุดเติมอากาศ : เติมอากาศต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 2:2:1, 4:4:1 และ 6:6:1 พบว่าอัตราส่วนที่ต่างกันทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดแตกต่างกันไปด้วย โดยอัตราส่วน 6:6:1 มีประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนสูงสุดร้อยละ 86.31 ดังนั้นอัตราส่วนการเติมอากาศ จึงมีบทบาทสำคัญต่อการบำบัดธาตุอาหาร อย่างไรก็ตามในงานวิจัยอื่น ๆ ที่ผ่านมายังไม่มีการบำบัดทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัสพร้อมกันในการทดลองเดียวกันทั้งที่สามารถพบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ทั่วไปในน้ำเสียชุมชน การศึกษานี้จึงทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ที่มีค่า BOD 400 มก./ล ซึ่งเป็นเกณฑ์น้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) และแปรผันอัตราส่วนการเติมอากาศ : หยุดเติมอากาศ ต่าง ๆ กัน เมื่อใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา เปรียบเทียบกับระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (attached growth) บนใยกรอง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เมื่อใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา กับระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (attached growth) บนใยกรอง

(2) เพื่อศึกษาผลของรูปแบบการเติมอากาศและหยุดเติมอากาศ ต่อประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยใช้จำนวนรอบการเติมอากาศและหยุดเติมอากาศต่าง ๆ กัน คือ เติมอากาศ 10 ชม. แล้วหยุดเติมอากาศ 8 ชม.(10:8), เติมอากาศ 5 ชม. หยุดเติมอากาศ 4 ชม. ต่อเนื่องกัน 2 รอบ (5:4:5:4) และเติมอากาศ 4 ชม. หยุดเติมอากาศ 4 ชม. เติมอากาศ 1 ชม. ต่อเนื่องกัน 2 รอบ (4:4:1-4:4:1)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์น้ำเสียชุมชน

น้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลองนี้ มาจากการสังเคราะห์น้ำเสียให้มีค่า BOD (ใช้กลูโคสเป็นสารตัวแทน) เข้มข้น 400 มก./ล โดยมีองค์ประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ไนโตรเจน 40 มก./ล (ใช้ยูเรียเป็นสารตัวแทน) และฟอสฟอรัส 5 มก./ล (ใช้ KH_2PO_4 เป็นสารตัวแทน) โดยมีการเติมธาตุอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ ได้แก่ $FeCl_2$, $NaHCO_3$, และ $MgSO_4.7H_2O$ (ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Sirianuntapiboon และ Yommee, 2006)

3.2 การเตรียมเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ทดลองมาจากสลัดจ์ส่วนเกิน (excessed sludge) ของระบบ AS จากโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำดินแดง สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร แล้วเลี้ยงในระบบควบคุมให้มีค่า MLSS 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยให้เชื้อมีความคุ้นชินกับน้ำเสียก่อน (acclimatization)

3.3 ถังปฏิกิริยา (reactor)

ถังปฏิกิริยา SBR ที่ใช้ทำจากอะคริลิกรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 ซม. สูง 40 ซม. บรรจุน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 7.5 ลิตร โดยมีการติดตั้งใบพัดกวนสเตนเลสเพื่อกวนน้ำเสียให้เข้ากันในช่วงทำปฏิกิริยา

ตัวใบพัดอยู่สูงจากก้นถังประมาณ 3.5 ซม. กวนน้ำเสียด้วยอัตราเร็ว 70 รอบต่อนาที ภายในถังปฏิกิริยามีการวางแผ่นใยกรอง (filter mat) ที่ทำจากโพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) ขนาดกว้าง 11 ซม. ยาว 50 ซม. หนา 4 ซม. โดยรอบผนังของถังปฏิกิริยาให้อยู่เหนือใบพัดประมาณ 1 ซม.

3.4 การทดลองบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยระบบ SBR

เริ่มจากใช้ถังปฏิกิริยาทั้งหมดจำนวน 6 ถัง โดยแบ่งเป็น 2 ระบบคือ ระบบ SBR แบบธรรมดา (suspended growth) (ถังที่ 1-3) และระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (attached growth) บนใยกรอง (ถังที่ 4-6) ทุกถังเติมน้ำเสีย 7.5 ลิตรใช้วัฏจักร SBR แบบ 24 ชั่วโมง แบ่งเป็นขั้นตอนคือ

- ขั้นที่ 1 การเติมน้ำเสีย 1 ชั่วโมง
- ขั้นที่ 2 การเกิดปฏิกิริยา โดยแปรผันรูปแบบการเติมอากาศและหยุดเติมอากาศต่าง ๆ กัน คือ ถังที่ 1 และ 4 เติมอากาศ 10 ชม. แล้วหยุดเติมอากาศ 8 ชม., ถังที่ 2 และ 5 เติมอากาศ 5 ชม. หยุดเติมอากาศ 4 ชม. ต่อเนื่องกัน 2 รอบ, ถังที่ 3 และ 6 เติมอากาศ 4 ชม. หยุดเติมอากาศ 4 ชม. เติมอากาศ 1 ชม. ต่อเนื่องกัน 2 รอบ
- ขั้นที่ 3 ตกตะกอน 3 ชั่วโมง
- ขั้นที่ 4 ถ่ายน้ำออกปริมาตร 3.5 ลิตร และพักระบบ 2 ชั่วโมง

3.5 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผล

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วจากขั้นตอนการถ่ายน้ำออก ทั้งของระบบ SBR แบบธรรมดา และระบบ SBR แบบจุลินทรีย์ยึดเกาะบนใยกรอง จะนำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี ได้แก่ BOD_5, COD, TKN, TP และ SS โดยอ้างอิงวิธีวิเคราะห์จาก Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (19th edition) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มชีวภาพที่เกาะบนเส้นใยกรองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM) (Hitachi รุ่น SU5000) กำลังขยาย 3000 เท่าร่วมด้วย

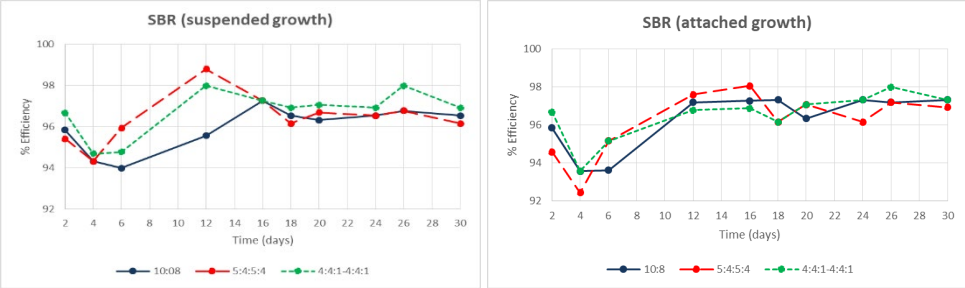
4. สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

การบำบัดน้ำเสียชุมชนความเข้มข้น 400 มก./ล โดยใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา (suspended growth) และระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (attached growth) บนใยกรอง สามารถกำจัด COD, BOD, TKN, TP และ SS ได้ผลดังนี้

4.1 ผลการกำจัด BOD และ COD

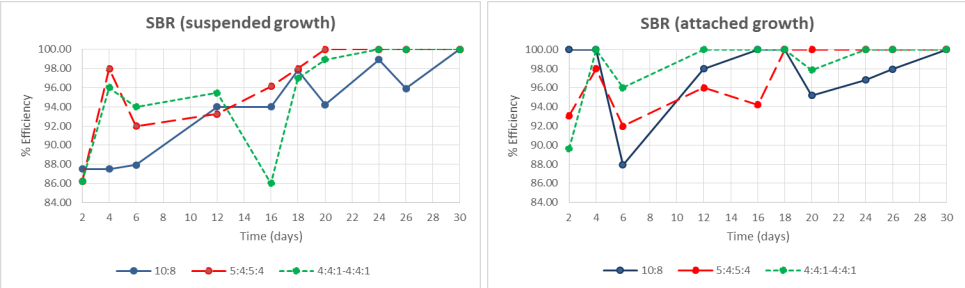
การกำจัด BOD และ COD ที่ความเข้มข้น 400 มก./ล โดยใช้กลูโคสเป็นสารตัวแทน แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ โดยรูปซ้ายเป็นระบบ SBR แบบธรรมดา (suspended growth) และรูปขวาระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (attached growth) บนใยกรอง

- BOD



รูปที่ 1 ผลการกำจัด BOD เมื่อใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา (ซ้าย) และที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (ขวา)

- COD

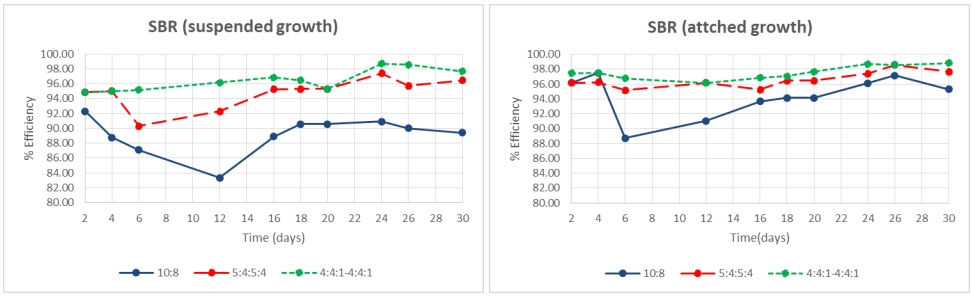


รูปที่ 2 ผลการกำจัด COD เมื่อใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา (ซ้าย) และที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (ขวา)

จากรูปที่ 1 พบว่าตลอด 30 วันที่ทำการทดลอง ทั้งระบบ SBR แบบธรรมดา และที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ สามารถกำจัด BOD ได้ใกล้เคียงกันทั้ง 3 รูปแบบการเติมอากาศ โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 92.4-98.8 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาในรูปที่ 2 ซึ่งพบว่าระบบ SBR ทั้ง 2 แบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 86.0-100.0 เช่นเดียวกัน ทั้งนี้การที่ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD และ COD ของระบบ SBR ทั้ง 2 แบบและทั้ง 3 รูปแบบการเติมอากาศ มีความใกล้เคียงกันนั้น เนื่องจากกลูโคสเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย (easily biodegradable substrate) (Fabregas, 2004) ดังนั้นปัจจัยของตัวกลาง และรูปแบบการเติมอากาศทุกรูปแบบในการศึกษานี้ซึ่งใช้เวลาการเติมอากาศรวมทั้งสิ้น 10 ชั่วโมง จึงไม่มีผลต่อประสิทธิภาพแต่อย่างใด

4.2 ผลการกำจัด TKN

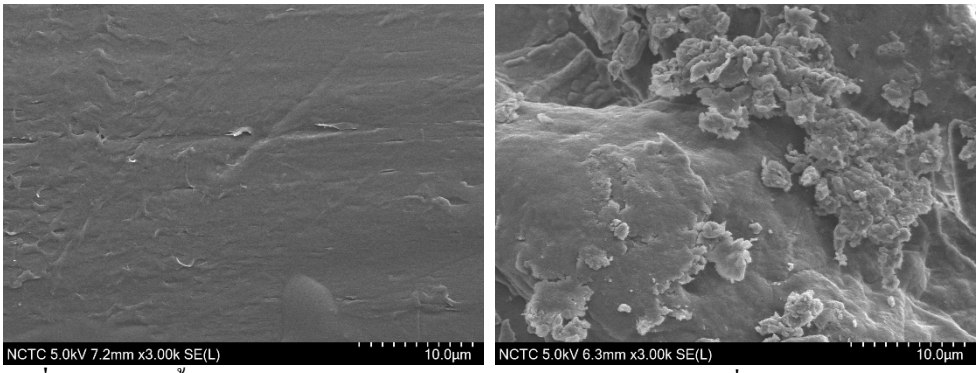
ผลการกำจัด TKN ของระบบ SBR ทั้ง 2 แบบ เมื่อใช้รูปแบบการเติมอากาศต่าง ๆ กัน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลการกำจัด TKN เมื่อใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา (ซ้าย) และที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (ขวา)

จากรูปที่ 3 พบว่าระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ ที่เติมอากาศอัตราส่วน 4:4:1-4:4:1 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN สูงสุดร้อยละ 98.8 รองลงมาคืออัตราส่วน 5:4:5:4 (ร้อยละ 98.6) และ 10:8 (ร้อยละ 88.7) สอดคล้องกับระบบ SBR แบบธรรมดา ที่เติมอากาศอัตราส่วน 4:4:1-4:4:1 (ร้อยละ 98.7), 5:4:5:4 (ร้อยละ 97.4) และ 10:8 (ร้อยละ 83.3) เมื่อนำประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ของอัตราส่วนการเติมอากาศ 4:4:1-4:4:1 และ 5:4:5:4 มาทดสอบด้วยสถิติ Paired-t Test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$)

จากผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะสามารถกำจัด TKN ได้ดีกว่าแบบธรรมดา เนื่องจากระบบ SBR ที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะบนใยกรองช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์มายึดเกาะได้มากซึ่งสอดคล้องกับพื้นผิวของฟิล์มชีวภาพที่เกาะบนเส้นใยกรอง แสดงดังรูปที่ 4



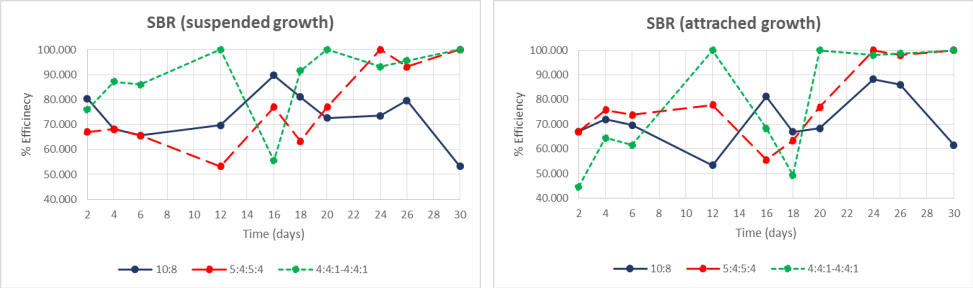
รูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของใยกรองก่อนการทดลอง (รูปซ้าย) และใยกรองที่มีฟิล์มชีวภาพเกาะอยู่บนผิวเส้นใย (รูปขวา)

จากรูปที่ 4 พบว่าระบบ SBR ที่ใส่ใยกรองลงไป จะเกิดฟิล์มชีวภาพขึ้นบนพื้นผิวเส้นใย โดยมีลักษณะเกาะกันเป็นแผ่นและกลุ่มก้อนที่ไม่สม่ำเสมอกัน ลักษณะพื้นผิวที่มีรูปแบบผสมกันนี้ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ชั้นฟิล์มชีวภาพที่หนามากขึ้น จะเกิดชั้น slime layer ซึ่งมีทั้งชั้นแอโรบิก (ใช้อากาศ) ที่สัมผัสกับน้ำเสีย และชั้นแอนแอโรบิก (ไม่ใช้อากาศ) ที่แนบอยู่บนผิวตัวกลาง (Sirianuntapiboon และ Yommee, 2006) ทำให้สามารถกำจัดไนโตรเจนออกจากระบบด้วยปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นและดีไนตริฟิเคชั่นในเวลาเดียวกันได้

สำหรับปัจจัยเรื่องอัตราส่วนการเติมอากาศนั้น การที่อัตราส่วนเติมอากาศแบบที่ 1 มีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ต่ำสุดนั้นเนื่องจากจุลินทรีย์ในกลุ่ม ammonia oxidizing bacteria (AOB) และ nitrite oxidizer bacteria (NOB) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการกำจัดแอมโมเนียในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ต้องการคาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) ในการเจริญเติบโต (Fabregas, 2004) การเติมอากาศที่นานติดต่อกันถึง 10 ชั่วโมงทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในรูป COD ถูกสลายไปกว่าร้อยละ 90 (ดังผลในรูปที่ 2) ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวเกิดภาวะขาดอาหารและเพิ่มจำนวนได้น้อยกว่าการเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และ 3 ที่ลดเวลาการเติมอากาศในรอบแรกเหลือ 5 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ แล้วคั่นด้วยการหยุดเติมอากาศ ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ยังมีเหลือในระบบการกำจัด TKN จึงทำได้ดีกว่า

4.3 ผลการกำจัด TP

ผลการกำจัด TP ของระบบ SBR ทั้ง 2 แบบ เมื่อใช้รูปแบบการเติมอากาศต่าง ๆ กัน แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการกำจัด TP เมื่อใช้ระบบ SBR แบบธรรมดา (ซ้าย) และที่ใช้จุลินทรีย์แบบยึดเกาะ (ขวา)

จากรูปที่ 5 พบว่าทั้งระบบ SBR แบบจุลินทรีย์แขวนลอยและแบบจุลินทรีย์ยึดเกาะ มีประสิทธิภาพในการกำจัด TP ได้ใกล้เคียงกันในทุกรูปแบบการเติมอากาศ โดยเมื่อเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และ 3 สามารถกำจัดฟอสฟอรัสเข้มข้น 5 มก./ล ได้ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเติมอากาศต่าง ๆ กันพบว่าการเติมอากาศรูปแบบที่ 2 และ 3 สามารถกำจัด TP ได้สูงกว่าแบบที่ 1 อย่างชัดเจน เนื่องจากกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสนั้นใช้กระบวนการ Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR) ที่ใช้จุลินทรีย์ในกลุ่ม Phosphorus Accumulating Organisms (PAOs) ซึ่งต้องการคาร์บอนอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้นหากเติมอากาศต่อเนื่องยาวนานเกินไป (การเติมอากาศรูปแบบที่ 1) ทำให้จุลินทรีย์ขาดอาหารและเพิ่มจำนวนได้น้อยลง นอกจากนี้ในกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสนั้นต้องอาศัยการสลับกันระหว่างปฏิกิริยาแอนแอโรบิก (หยุดเติมอากาศ) และแอโรบิก (เติมอากาศ) เนื่องจาก 2 สาเหตุหลักคือ 1) กรดไขมันระเหยง่าย (VFA) ที่เกิดจากขั้นตอนแอนแอโรบิกจะเหนี่ยวนำ PAOs ให้เปลี่ยนรูปฟอสฟอรัสเป็นออร์โธฟอสเฟต จากนั้นจุลินทรีย์จึงจะนำฟอสฟอรัสรูปดังกล่าวไปสร้างเซลล์ใหม่ในขั้นตอนแอโรบิกต่อไป ดังนั้นการหยุดเติมอากาศแล้วสลับกับการเติมอากาศจึงกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีกว่า และ 2) การกำจัดฟอสฟอรัสจะเกิดได้เมื่อมีค่า alkalinity สูง ซึ่งปกติแล้วในระบบที่กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสควบคู่กัน ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจะทำให้ค่า alkalinity ต่ำ แต่ในขั้นตอนแอนแอโรบิกซึ่งเกิดดีไนตริฟิเคชั่น ค่า alkalinity จะกลับสูงขึ้นมา ทำให้เหมาะสมต่อการตกตะกอนผลึกของฟอสฟอรัส (Fabregas, 2004) ซึ่งตะกอนผลึกฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นจะเกาะติดบนผิวจุลินทรีย์ทั้งแบบแขวนลอยและแบบฟิล์มชีวภาพ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2544)

4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ SBR

เมื่อนำน้ำทิ้งหลังการบำบัดจากทุกถังปฏิกิริยามาวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS) พบว่าได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้ง (effluent) หลังการทดลอง

SS (mg/L)	SBR (suspended growth)			SBR (attach growth)		
	10:8	**5:4:5:4**	**4:4:1-4:4:1**	**10:8**	**5:4:5:4**	**4:4:1-4:4:1**
	66±10	67±16	64±14	65±19	61±13	62±15

จากตารางที่ 1 พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากทุกถังปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 61-67 มก./ล เนื่องจากในทุกถังปฏิกิริยามีระยะเวลาการตกตะกอนเท่า ๆ กัน

5. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ฟิล์มชีวภาพบนใยกรอง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- ถังปฏิกิริยา SBR แบบที่มีใยกรอง มีประสิทธิภาพในการกำจัด TKN ได้ดีกว่าถังปฏิกิริยาที่ใช้จุลินทรีย์แบบแขวนลอยอย่างชัดเจน ส่วนการกำจัด BOD, COD และ TP พบว่าระบบ SBR ทั้ง 2 แบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกัน
- รูปแบบการเติมอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดธาตุอาหาร เนื่องจากการบำบัดธาตุอาหารเกี่ยวข้องกับกระบวนการใช้อากาศและไม่ใช้อากาศที่ต่างกันออกไป การเติมอากาศสลับกับการหยุดเติมอากาศเป็นช่วง ๆ มีประสิทธิภาพในการกำจัดดีกว่าการเติมอากาศต่อเนื่องครั้งเดียว โดยการเติมอากาศรูปแบบที่ 3 (เติมอากาศ 4 ชั่วโมง, หยุดเติมอากาศ 4 ชั่วโมง แล้วเติมอากาศอีก 1 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 2 ครั้ง) สามารถกำจัด TKN สูงสุด ส่วนการเติมอากาศรูปแบบที่ 2 (เติมอากาศ 5 ชั่วโมง แล้วหยุดเติมอากาศ 4 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 2 ครั้ง) และรูปแบบที่ 3 สามารถกำจัด TP ได้สูงสุดใกล้เคียงกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ที่อนุเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์เพื่อมาใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณ รศ. ดร. ภารดี ช่วยบำรุง ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือในการทดลองต่างๆ

7. เอกสารอ้างอิง

APHA, AWWA, WPCF, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (19th edition). American Plublic Health Association, Washington, DC.

Fàbregas, M., V., T. (2004). SBR technology for wastewater treatment: suitable operational conditions for nutrients removal. Universitat de Girona, Girona.

Sirianuntapiboon, S., & Yommee, S. (2006). Application of a new type of moving bio-film in aerobic sequencing batch reactor (aerobic-SBR). Journal of Environmental Management, 78(2), 149-156. doi:https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.04.012.

กรมควบคุมมลพิษ. (2561). น้ำเสียชุมชน. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2561 จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html

ธงชัย พรรณสวัสดิ์. (2544). การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

วรุทัย เดชตานนท์ (2544). การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยใช้เอสบีอาร์. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2561 จาก http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bi tstream/123456789/1278/2/waru ta i_fulltext.p df

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2549). ระบบบำบัดน้ำเสีย Wastewater Treatment System. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. (2547). การกำจัดไนโตรเจนโดยตัวกลางของระบบเอสบีอาร์. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42 (น. 276-283). กรุงเทพฯ: มหาวิยาลัยเกษตรศาสตร์

อรัญญา อัศวอารีย์ (2561). ประเภทของวัสดุกรอง Biofilter Media Review. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2561 www.coastalaqua.com/files/technology/8.ppt

การศึกษาการใช้ Business Model Canvas เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ)

THE STUDY OF BUSINESS MODEL CANVAS APPLICATION FOR FOCUS THE VALUE PROPOSITION TO WATER SUPPLY CUSTOMERS IN PROVINCIAL WATERWORKS AUTHORITY, UDONTHANI BRANCH

จินตวัฒน์ ละชินลา
นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต
วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail : mart.jintawat@gmail.com
ภิเษก ชัยนิรันดร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย
E-mail : pisek@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษาอิสระครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาและใช้แนวคิด Business Model Canvas มาจำลองรูปแบบทางธุรกิจ พัฒนาการให้บริการต่างๆ เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่า (Value Proposition) ให้กับผู้ใช้น้ำประปา โดยรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจ ความต้องการและนำแนวคิด Business Model Canvas มาประกอบการศึกษาครั้งนี้ และได้แจกแบบสอบถามสำรวจข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) จำนวน 400 ราย และวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ และจำลองรูปแบบทางธุรกิจ ผลการศึกษาพบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาภาพรวมด้านแจ้งหนี้และการชำระค่าน้ำประปา ผู้ใช้น้ำความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนด้านคุณภาพน้ำ ด้านการประชาสัมพันธ์ ด้านความสัมพันธ์กับผู้ใช้น้ำ และด้านบริการต่างๆ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก จึงได้ใช้แนวคิด Business Model Canvas มาจำลองรูปแบบทางธุรกิจ โดยมุ่งเน้นการเสนอคุณค่า (Value Proposition) ให้แก่ผู้ใช้น้ำประปาในเรื่องน้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น และน้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ เพื่อลดการร้องเรียนปัญหาต่างๆและเพิ่มระดับความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา ดังนั้น การประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ) ต้องให้ความสำคัญในเรื่องน้ำประปาที่สะอาดและน้ำประปาไหลตลอดเวลาเป็นอันดับแรก

คำสำคัญ : Business Model Canvas ความพึงพอใจ การเสนอคุณค่า

ABSTRACT

The purpose of this research were objective to investigate the satisfaction of Water Supply Customers in Provincial Waterworks Authority, Udonthani Branch, Udonthani Province and to simulate the business model by using Business Model Canvas in order to develop the services and focus the value proposition to Water Supply Customers. The satisfaction, demand, and Business Model Canvas were studied in the study. The sample of the study was 400 Water Supply Customers. The instrument used in data collecting was a questionnaire. The statistics used in data analysis and simulate the business model. The results were found that the customers' satisfaction in the invoicing and payment. Satisfaction was at the highest. For water quality, publicity, relationship with water supply customers and other services, satisfaction were at the high levels. According to the results, the Business Model Canvas was used to simulate the business model by emphasizing on Value Proposition to the customers in water quality – pure, clear, scentless and constantly flowing – in order to decrease the customers' complains and increase the customers' satisfactions. Therefore, Provincial Waterworks Authority, Udonthani Branch needs to first focus on the water quality and constantly flow.

KEYWORDS : Business Model Canvas Satisfaction Value Proposition

1. บทนำ

ปัจจุบันปี พ.ศ. 2561 การประปาส่วนภูมิภาค มีพื้นที่การให้บริการทั้งหมด 74 จังหวัด ยกเว้นพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ และนนทบุรี มีจำนวนผู้ใช้น้ำทั้งหมด 4,338,312 ราย กำลังการผลิตที่ใช้งาน 5,273,279 ลบ.ม. ต่อวัน โดยแบ่งสายงานปฏิบัติการออกเป็น 5 ภาค ประกอบด้วย การประปาส่วนภูมิภาคเขต 1 - 10 จะมีการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอยู่ในกำกับการดูแลของการประปาส่วนภูมิภาคเขตแต่ละเขต โดยการประปาส่วนภูมิภาคเขต 7 มีพื้นที่รับผิดชอบการบริการทั้งหมด 7 จังหวัด ได้แก่ อุดรธานี เลย หนองคาย สกลนคร นครพนม หนองบัวลำภู และบึงกาฬ ประกอบด้วยการประปาส่วนภูมิภาคสาขา จำนวน 20 สาขา หนึ่งในนั้นก็คือ การประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ) (การประปาส่วนภูมิภาคเขต 7, 2560)

เนื่องจากสำนักงานคณะกรรมการนโยบายรัฐวิสาหกิจ กระทรวงการคลัง ทำหน้าที่ประเมินผลงานของการประปาส่วนภูมิภาค ได้กำหนดเกณฑ์การประเมินผลงานซึ่งหนึ่งในเกณฑ์ประเมินผล ก็คือผลลัพธ์ด้านการมุ่งเน้นลูกค้า เรื่องระดับความพึงพอใจลูกค้าต่อประสิทธิภาพในกระบวนการให้บริการของการประปาส่วนภูมิภาค ในปีงบประมาณ 2561 ได้กำหนดระดับความพึงพอใจลูกค้าต่อประสิทธิภาพในกระบวนการให้บริการของการประปาส่วนภูมิภาคโดยมีคะแนนเต็ม 5 คะแนน ซึ่งปัจจัยที่สำคัญส่งผลต่อการดำเนินงานขององค์กรและวิสัยทัศน์ของการประปาส่วนภูมิภาค กล่าวว่า "ผู้ใช้น้ำประทับใจในคุณภาพและบริการที่เป็นเลิศ (Customers are delighted with water quality and excellent services)" (การประปาส่วนภูมิภาค, 2560) ดังนั้น กปภ.สาขาอุดรธานี จึงให้ความสำคัญในการให้บริการในด้านต่างๆ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา

ผู้ศึกษาจึงสนใจที่จะใช้แนวคิด Business Model Canvas เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาด้านการจัดการ การบริหารและการบริการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาความพึงพอใจผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี

(2) เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปา โดยใช้แนวคิด Business Model Canvas มาจำลองรูปแบบทางธุรกิจและพัฒนาการให้บริการต่างๆ

3. แนวคิดที่เกี่ยวข้อง

1. แนวคิดการบริการ สามารถจำแนกกลุ่มการให้บริการได้ 4 ประเภท ดังนี้ 1. การให้บริการต่อร่างกายของลูกค้า เป็นการบริการต่อสิ่งที่มีตัวตน สามารถจับต้องได้ โดยลูกค้าจะมีส่วนร่วมหรือเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการผลิตหรือบริการได้แก่ การบริการอาหาร เครื่องดื่ม เป็นต้น 2. การบริการต่อสิ่งของหรือวัตถุของลูกค้า เป็นการให้บริการต่อสิ่งที่มีตัวตน สามารถจับต้องได้ โดยลูกค้าจะไม่มีส่วนร่วมในกระบวนการผลิตหรือบริการเลยหรือลูกค้าเอาสิ่งของหรือสัตว์เลี้ยงมาไว้ในสถานที่ให้บริการ ได้แก่ การซ่อมบำรุงรักษา การซักรีด เป็นต้น 3. การบริการต่อความคิดหรือจิตใจลูกค้า เป็นการให้บริการต่อสิ่งที่ไม่มีตัวตน ไม่สามารถมองเห็นหรือจับต้องได้ ได้แก่ การศึกษา การให้คำปรึกษา เป็นต้น การบริการประเภทนี้อาจจะส่งมอบบริการ ณ สถานที่บริการ ได้แก่ สถาบันการศึกษา สถานบันเทิง เป็นต้น ซึ่งเป็นการให้บริการต่อจิตใจ อารมณ์ ความรู้สึก ทัศนคติและพฤติกรรมของลูกค้า แต่ต้องอยู่บนพื้นฐานของมาตรฐานของจริยธรรมด้วย 4. การบริการต่อทรัพย์สินของลูกค้า เป็นการให้บริการต่อสิ่งที่ไม่มีตัวตน ไม่สามารถจับต้องได้ มีลักษณะที่ไม่เกี่ยวข้องกับตัวลูกค้า แต่เป็นธุรกรรมเกี่ยวกับทรัพย์สินที่ไม่สามารถจับต้องได้ หรือลูกค้าอาจจะเดินทางไปรับบริการ ณ สถานที่บริการ ได้แก่ ธนาคาร บริษัทประกันภัย สำนักงานทนายความ เป็นต้น (ทิพวรรณ ฟุ่มมณี และคณะ, 2554)

2. แนวคิดพฤติกรรมผู้บริโภค จากแนวคิดของ Blythe พฤติกรรมผู้บริโภคเกิดจากทัศนคติของผู้บริโภคที่มีองค์ประกอบ 3 ข้อ ได้แก่ 1. การรับรู้ (Cognition) คือ การเกิดกระบวนการความคิด อาทิเช่น การที่ได้รับรู้ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับสินค้าหรือบริการ ไม่ว่าจะเป็นการรับรู้จากโฆษณาทางโทรทัศน์ สื่อออนไลน์ 2. เกิดความรู้สึกชอบ (Affect) และเกิดอารมณ์ร่วม (Emotion) อาทิเช่น การประทับใจในโฆษณาสินค้าหรือบริการ 3. พัฒนาไปสู่การเกิดความต้องการสินค้าหรือบริการ (Conation) เกิดพฤติกรรมที่ตั้งใจ อาทิเช่น การประสงค์ที่จะอยากได้หรืออยากซื้อสินค้าหรือบริการนั้น จากองค์ประกอบของทัศนคติทั้ง 3 ข้อ ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดพฤติกรรมผู้บริโภคร่วมกับทัศนคติ ได้แก่ ปัจจัยด้านบุคคลและสภาพแวดล้อม (Personal and Environmental Factors) เนื่องจากมนุษย์แต่ละคนย่อมมีความแตกต่างในด้านครอบครัว สังคม อันส่งผลต่อพฤติกรรม นอกจากนั้นสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผู้บริโภคแสดงพฤติกรรมที่แตกต่างกัน (วุฒิ สุขเจริญ, 2555)

3. แนวคิดความพึงพอใจของผู้บริโภค จากแนวคิด American Customer Satisfaction Index (ASCI) ประกอบด้วย 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของของผู้บริโภค ได้แก่ 1. ความคาดหวังของลูกค้า (Customer Eapectations) 2. คุณภาพในสายตาผู้บริโภค (Perceived Quality) 3. คุณค่าหรือความนิยมของผู้บริโภค (Perceiced

Value) จากแบบจำลอง ASCI กำหนดให้คุณค่าหรือความนิยมของผู้บริโภค ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความพึงพอใจของผู้บริโภค โดยได้รับอิทธิพลจากคุณภาพในสายตาผู้บริโภคและความคาดหวังของลูกค้า และอีก 2 ปัจจัยซึ่งเป็นผลมาจากความพึงพอใจของผู้บริโภค ได้แก่ 1. ข้อร้องเรียนของลูกค้า (Customer Complaint) 2. ความภักดีของลูกค้า (Customer Loyalty) (นภดล ร่มโพธิ์, 2554)

4. แนวคิด Business Model Canvas มาจำลองรูปแบบทางธุรกิจ โมเดลธุรกิจจะอธิบายที่มาที่ไปของวิธีการที่องค์กรใช้เพื่อสร้าง ส่งมอบ และคงไว้ซึ่งคุณค่า สามารถอธิบายโมเดลธุรกิจได้ดีที่สุด ต้องมีส่วนประกอบทั้งหมด 9 ส่วน ได้แก่ กลุ่มลูกค้า การเสนอคุณค่า ช่องทาง ความสัมพันธ์ของลูกค้า กระแสรายได้ ทรัพยากรหลัก กิจกรรมหลัก พันธมิตรหลัก และ โครงสร้างต้นทุน ซึ่งทั้ง 9 ส่วนนี้ครอบคลุมทั้ง 4 ด้านหลักของธุรกิจ ได้แก่ ลูกค้า ข้อเสนอ โครงสร้างพื้นฐาน และการสร้างรายได้ โดยโมเดลธุรกิจเปรียบเสมือนพิมพ์เขียวสำหรับการขับเคลื่อนกลยุทธ์ผ่านโครงสร้าง กระบวนการ แบบแผนและระบบต่างๆ ขององค์กร (Alexander Osterwalder and Yves Pigneur, 2010)

4. วิธีการดำเนินการ

1. กำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรของการศึกษา คือ ผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) จำนวน 58,137 ราย ซึ่งขนาดกลุ่มตัวอย่างในการศึกษา เท่ากับ 400 ราย ได้จากสูตรการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างแบบทราบจำนวนประชากรของทาโร ยามาเนะ (Taro Yamane) ซึ่งกำหนดความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 95

2. กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลการศึกษา เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้น้ำประปา และความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี โดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้น้ำประปา ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้ใช้น้ำประปา ส่วนที่ 3 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา ทั้ง 5 ด้าน และส่วนที่ 4 รับข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

3. กำหนดวิธีหาคุณภาพของเครื่องมือ ได้แก่ 1. นำเสนอแบบสอบถามแก่อาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง 2. ให้ผู้เชี่ยวชาญ 3 ท่าน มาวิเคราะห์ความสอดคล้องของเนื้อหาในแต่ละหัวข้อ โดยใช้สูตร Index of Item-Objective Congruence หรือ IOC 3. นำไปทดลองใช้กับลูกค้าที่ไม่ได้เป็นกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ราย แล้วหาความเชื่อมั่น (Reliability) โดยใช้วิธีหาค่าสัมประสิทธิ์ (α- Coefficient) ใช้สูตรครอนบาค (Cronbach)

4. กำหนดการเก็บรวบรวมข้อมูล ทำการแจกแบบสอบถามกับผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยละอื่นๆ) ในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี จำนวน 400 ราย

5. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ 3 ชนิด ได้แก่ 1. การแจกแจงความถี่ 2. การหาค่าเฉลี่ย 3. การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6. ใช้แนวคิด Business Model Canvas มาปรับปรุงและพัฒนาการให้บริการต่างๆ เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี

5. ผลการศึกษา

1. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) สรุปได้ว่าผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ส่วนใหญ่จะมีจำนวนประชากรในครัวเรือนไม่เกิน 5 คน รายได้เฉลี่ยของครัวเรือนจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100,000 บาท ต่อเดือน และค่าน้ำประปาเฉลี่ยต่อเดือน ส่วนใหญ่จะไม่เกิน 1,000 บาท ต่อเดือน

ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้น้ำประปา สรุปพฤติกรรมของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ได้ว่าช่วงเวลา 05.01 - 09.00 น. และ 17.01 - 21.00 น. จะมีการใช้น้ำประปามากที่สุดในแต่ละวัน โดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการอุปโภค บริโภค และช่องทางในการชำระค่าน้ำประปา ที่นิยมใช้ คือ กปภ.สาขาอุดรธานี ผ่านเคาน์เตอร์เซอร์วิส กปภ.เขต 7 ผ่านแอปพลิเคชั่น ผ่านเคาน์เตอร์ธนาคาร หักจากบัญชี และผ่านตู้ ATM ตามลำดับ ในการร้องเรียนปัญหาต่างๆ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ไม่เคยร้องเรียน จำนวน 372 คน คิดเป็นร้อยละ 93.00 ส่วนที่เคยร้องเรียน จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 7 ในเรื่องช่องทางที่เคยร้องเรียนปัญหาต่างๆ ส่วนใหญ่จะร้องเรียนผ่านทางโทรศัพท์สำนักงาน และ Call Center ส่วนเรื่องที่เคยร้องเรียน ส่วนใหญ่จะร้องเรียนเรื่องน้ำไม่ไหล ค่าน้ำแพงเกินจริง และน้ำไม่สะอาด ขุ่น มีกลิ่น ในเรื่องคุณค่าที่ผู้ใช้น้ำต้องการมากที่สุด คือ น้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น รองลงมา คือ น้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ ส่วนเรื่องผู้ใช้น้ำต้องการร้องเรียนปัญหาต่างๆ ช่องทางไหนมากที่สุด คือ ร้องเรียนผ่าน Facebook/Line/โทรศัพท์สำนักงาน

ส่วนที่ 3 ข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา จากแนวคิด ASCI ประกอบด้วย 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของของผู้บริโภค ได้แก่ 1. ความคาดหวังของลูกค้า (Customer Eapectations) 2. คุณภาพในสายตาผู้บริโภค (Perceived Quality) 3. คุณค่าหรือความนิยมของผู้บริโภค (Perceiced Value) ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อความพึงพอใจของผู้บริโภคและได้รับอิทธิพลจากคุณภาพในสายตาผู้บริโภคและความคาดหวังของลูกค้า และอีก 2 ปัจจัยซึ่งเป็นผลมาจากความพึงพอใจของผู้บริโภค ได้แก่ 1. ข้อร้องเรียนของลูกค้า (Customer Complaint) 2. ความภักดีของลูกค้า (Customer Loyalty) สามารถสรุปความพึงพอใจด้านคุณภาพน้ำของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด คือ น้ำใส รองลงมาความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ได้แก่ น้ำไม่มีกลิ่น แรงดันน้ำเหมาะสม และน้ำไหลตลอดเวลา ดังนั้น ภาพรวมระดับความพึงพอใจด้านคุณภาพน้ำของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ความพึงพอใจด้านแจ้งหนี้และการชำระค่าน้ำประปาของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ได้แก่ ความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่าน้ำ ความเหมาะสมของระยะเวลาในการชำระค่าน้ำ และความหลากหลายของช่องทางชำระค่าน้ำ ดังนั้น ภาพรวมระดับความพึงพอใจด้านแจ้งหนี้และการชำระค่าน้ำประปาของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจด้านการประชาสัมพันธ์ของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ได้แก่ ทราบถึงประกาศการหยุดจ่ายน้ำชั่วคราว ความถูกต้องของประกาศการหยุดจ่ายน้ำชั่วคราวในส่วนพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบและการคาดคะเนเวลาที่สามารถจ่ายน้ำเข้าระบบได้ ทราบถึงช่องทางการรับข้อร้องเรียน และทราบถึงประกาศวันหยุดของสำนักงานประปา ดังนั้น ภาพรวมระดับความพึงพอใจด้านการประชาสัมพันธ์ของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ความพึง

พอใจด้านความสัมพันธ์กับผู้ใช้น้ำของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด คือ ความสุภาพ การเอาใจใส่ของพนักงาน รองลงมาความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก คือ การแก้ไขปัญหาเรื่องร้องเรียนต่างๆ ดังนั้น ภาพรวมระดับความพึงพอใจด้านความสัมพันธ์กับผู้ใช้น้ำของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ความพึงพอใจด้านบริการต่างๆของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ได้แก่ ความรวดเร็วในการติดตั้งมาตรวัดน้ำใหม่ ความรวดเร็วในการติดตั้งมาตรวัดน้ำ (หลังจากถูกระงับมาตร) และความรวดเร็วในการตรวจสอบค่าน้ำประปาแพง ดังนั้น ภาพรวมระดับความพึงพอใจด้านบริการต่างๆของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

จากการแจกแบบสอบถามผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) จำนวน 400 ราย ในพื้นที่ดูแลของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ) สามารถสรุปภาพรวมได้ดังนี้ ส่วนใหญ่จำนวนประชากรในครัวเรือนมีไม่เกิน 5 คน รายได้เฉลี่ยของครัวเรือนตั้งแต่ 0 ถึง 100,000 บาท ต่อเดือน ค่าน้ำประปาเฉลี่ยต่อเดือนไม่เกิน 1,000 บาทต่อเดือน ด้านพฤติกรรมการใช้น้ำ ผู้ใช้น้ำส่วนใหญ่จะใช้สำหรับอุปโภค บริโภค ซึ่งใช้น้ำในช่วงเวลา 05.01 - 09.00 น. และ 17.01 - 21.00 น. ช่องทางในการชำระค่าน้ำประปาส่วนใหญ่จะชำระที่ กปภ.สาขาอุดรธานีและผ่านเคาน์เตอร์เซอร์วิส การร้องเรียนปัญหาต่างๆ จะร้องเรียนผ่านทาง Call Center 1662 และโทรศัพท์สำนักงาน โดยส่วนใหญ่จะร้องเรียนในเรื่องน้ำไม่ไหล ผู้ใช้น้ำต้องการร้องเรียนปัญหาต่างๆ ช่องทางไหนมากที่สุด คือ Facebook line โทรศัพท์สำนักงาน รองลงมา คือ สำนักงาน กปภ.สาขาอุดรธานี กปภ.ข. 7 และคุณค่าที่ผู้ใช้น้ำต้องการมากที่สุด คือ น้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไมมีกลิ่น รองลงมา คือ น้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ ด้านความพึงพอใจ ผู้ใช้น้ำที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด คือ ด้านการแจ้งหนี้และการชำระค่าน้ำประปา ส่วนผู้ใช้น้ำที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก คือ ด้านบริการต่างๆ ด้านความสัมพันธ์กับผู้ใช้น้ำ ด้านคุณภาพน้ำ และด้านการประชาสัมพันธ์ ตามลำดับจากค่าเฉลี่ยมากไปหาน้อย

2. ใช้แนวคิด Business Model Canvas มาปรับปรุงและพัฒนาการให้บริการต่างๆ เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ)

ผู้ศึกษาได้นำข้อมูลจากแบบสอบถามความพึงพอใจ ส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้น้ำประปา ในหัวข้อเรื่องคุณค่าที่ผู้ใช้น้ำต้องการมากที่สุด คือ น้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น รองลงมา คือ น้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ และส่วนที่ 3 ข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา ด้านคุณภาพน้ำที่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ผู้ศึกษาได้นำแนวคิด Business Model Canvas จำลองรูปแบบทางธุรกิจ ดังแผนภาพที่ 1 เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่า (Value Proposition) ให้แก่ผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ลดข้อร้องเรียนต่างๆ และเพิ่มระดับความพึงพอใจในด้านคุณภาพน้ำให้มีระดับความพึงใจในระดับมากที่สุด

พันธมิตรหลัก - กรมชลประทาน - ผู้จำหน่ายวัสดุการผลิต วัสดุอุปกรณ์ - ผู้รับจ้างงานก่อสร้าง - ผู้รับจ้างงานบริการ - การไฟฟ้าส่วน - ภูมิภาค	**กิจกรรมหลัก** - ผลิต-จ่ายน้ำประปา - การบริการผู้ใช้น้ำประปา **ทรัพยากรหลัก** - ทรัพยากร : น้ำดิบ สารเคมีที่ดิน โรงกรองน้ำ อาคาร เครื่องจักร ระบบท่อ ฯลฯ - เงินทุน : เงินรายได้ กปภ. งบประมาณอุดหนุนจากรัฐบาล พันธบัตร กปภ. - บุคลากร : ผู้บริหารระดับสูง กลาง ล่าง และพนักงาน กปภ.	**การเสนอคุณค่า** - น้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น - น้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ	**ความสัมพันธ์กับลูกค้า** - ความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่าน้ำ - ความสุภาพ ความเอาใจใส่ของพนักงาน - ความรวดเร็วในการติดตั้งมาตรวัดน้ำใหม่ **ช่องทาง** - ช่องทางในการชำระค่าน้ำประปา : ทาง กปภ.สาขาอุดรธานี และเคาน์เตอร์เซอร์วิส	**กลุ่มลูกค้า** ผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ในพื้นที่ดูแลของ กปภ. สาขาอุดรธานี
โครงสร้างต้นทุน - วัสดุการผลิต 28.84% - วัสดุดำเนินการและซ่อมบำรุง 6.47% - ค่าเสื่อมราคาและค่าตัดจำหน่าย 21.31% - ต้นทุนค่าติดตั้งและวางท่อ 7.80% - ค่าใช้จ่ายพนักงาน 18.44% - ค่าจ้างและบริการ 3.97% - ค่าไฟฟ้า 9.39% - อื่นๆ 3.78%			**กระแสรายได้** - รายได้จากการจำหน่ายน้ำและบริการ 92.39% - รายได้ค่าติดตั้งและวางท่อ 7.61%	

แผนภาพที่ 1 แบบจำลองทางธุรกิจ Business Model Canvas ของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ)

กำหนดวิธีการดำเนินการ ดังนี้ 1. เรื่องน้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไมมีกลิ่น คุณภาพน้ำเหมาะสมกับการอุปโภค บริโภค ใช้ในธุรกิจขนาดย่อม ใช้ในผู้ประกอบการร้านอาหาร และอื่นๆ โดย กปภ.สาขาอุดรธานีให้ความสำคัญในเรื่องนี้มากและเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับผู้ใช้น้ำในการอุปโภค บริโภค รวมทั้งมั่นใจในกระบวนการผลิตน้ำประปาที่ดี จึงได้ดำเนินการตามโครงการ Water Safety Plan : WSP ซึ่งเป็นแนวทางเพื่อการจัดการคุณภาพน้ำดื่มที่ปลอดภัยขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization : WHO) ซึ่งได้ให้ความสำคัญในกระบวนการติดตาม ตรวจสอบการผลิตน้ำประปาให้ได้มาตรฐานอย่างเข้มงวดและมีความปลอดภัยของน้ำประปา ตั้งแต่การจัดการแหล่งน้ำให้มีความปนเปื้อนน้อยที่สุด ระบบผลิตน้ำประปาต้องสามารถลดและกำจัดสิ่งปนเปื้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสูบส่งและสูบจ่ายให้กับผู้ใช้น้ำจะต้องมีการป้องกันการปนเปื้อนต่างๆ ที่จะเข้าสู่ระบบ มีวิธีการดำเนินการตามโครงการ WSP โดยเริ่มการการประเมินความเสี่ยงด้านปริมาณและคุณภาพน้ำ ตั้งแต่แหล่งน้ำดิบจนถึงมาตรวัดน้ำของผู้ใช้น้ำ มีมาตรการในการควบคุมให้สามารถลดและขจัดความเสียงด้านคุณภาพน้ำ ได้แก่ การมีแหล่งสำรองกรณีเกิดภาวะวิกฤต การกำหนดมาตรการตรวจสอบประสิทธิระบบผลิต การนำระบบ ISO 9001 มาช่วยตรวจสอบระบบผลิต การกำหนดมาตรการตรวจสอบและบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบจ่ายน้ำให้พร้อมใช้งาน และการตรวจสอบความมีประสิทธิภาพของมาตรการเหล่านั้น 2. เรื่องน้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ สามารถจ่ายน้ำประปาได้ตลอดเวลา สามารถจ่ายน้ำตามช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำมากได้ ตั้งแต่เวลา 05.01 - 09.00 น. และ 17.01 - 21.00 น. และจ่ายน้ำทั่วถึงผู้ใช้

น้ำประปาทุกรายในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี ในกรณีที่ไม่สามารถจ่ายน้ำประปาได้ตามปกติ เกิดจากหลายสาเหตุ ได้แก่ ไฟฟ้าดับเนื่องจากฝนตก พายุ เครื่องสูบน้ำเสีย และการบริหารจัดการน้ำประปายังไม่มีประสิทธิภาพ เป็นต้น ดังนั้น กปภ.สาขาอุดรธานี จึงได้ดำเนินการแก้ไขปัญหา ดังนี้ 2.1 สาเหตุจากไฟฟ้าดับเนื่องจากฝนตก พายุ แก้ไขปัญหาโดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละโรงกรองผลิตน้ำประปา หากเกิดไฟฟ้าดับ ก็ดำเนินการจ่ายไฟฟ้าสำรองจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้แก่เครื่องสูบน้ำต่างๆในระบบผลิตได้ จะทำให้สามารถจ่ายน้ำประปาได้ตามปกติ 2.2 สาเหตุจากเครื่องสูบน้ำเสีย แก้ไขปัญหาโดยทำการตรวจสอบเครื่องสูบน้ำทุกๆสัปดาห์ หากผิดปกติก็ดำเนินการซ่อมทันที อีกอย่างควรจะติดตั้งเครื่องสูบน้ำสำรองในแต่ละโรงกรองผลิตน้ำ จะทำให้สามารถจ่ายน้ำประปาได้ตามปกติ 2.3 สาเหตุจากการบริหารจัดการน้ำประปายังไม่มีประสิทธิภาพ แก้ไขปัญหาโดยการติดตั้งระบบ District Metering Areas : DMA ในระบบจ่ายน้ำประปา เพื่อตรวจสอบแรงดันน้ำในแต่ละพื้นที่ย่อย DMA และจุดวิกฤตในพื้นที่ย่อย DMA (ผู้ใช้น้ำหลังสุดท้ายของปลายท่อ จุดที่มีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลสูงๆ) โดยปกติจะควบคุมให้แรงดันน้ำในทุกๆพื้นที่มีแรงดันน้ำไม่ต่ำกว่า 1 บาร์ หากต่ำกว่า 1 บาร์ แสดงว่าน้ำไม่ไหลปกติ จึงต้องดำเนินการตรวจสอบและแก้ไขทันที ส่วนด้านความสัมพันธ์กับลูกค้า (Customer Relationships) ได้แก่ 1.ความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่าน้ำ ปัจจุบัน กปภ.สาขาอุดรธานีได้ทำการเปลี่ยนระบบอ่านมาตรวัดน้ำมาเป็นการอ่านมาตรด้วยเครื่องมืออ่านมาตรและบันทึกข้อมูลการใช้น้ำพร้อมพิมพ์ใบแจ้งค่าน้ำประปาโดยเครื่องชนิดพกพา (Mobile Printer) และแจ้งหนี้ให้ผู้ใช้น้ำทันที ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ในเรื่องความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่าน้ำ มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงว่า กปภ.สาขาอุดรธานี ให้ความสำคัญในเรื่องความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่า ส่งผลดีต่อระดับความเชื่อมั่นของผู้ใช้ประปาที่มีต่อ กปภ.สาขาอุดรธานี 2. ความสุภาพและความเอาใจใส่ของพนักงาน เนื่องจากพนักงานที่ต้องให้บริการแก่ลูกค้าในด้านต่างๆ ได้ผ่านการอบรมเกี่ยวกับการให้บริการแก่ผู้ใช้น้ำ รวมถึง กปภ.สาขาอุดรธานีได้ยกระดับการให้บริการด้วยมาตรฐานศูนย์ราชการสะดวก (GECC) ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ในเรื่องความสุภาพและความเอาใจใส่ของพนักงาน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด แสดงว่าพนักงาน กปภ. มีจิตใจในการให้บริการที่ดี (ServiceMind) 3. ความรวดเร็วในการติดตั้งมาตรวัดน้ำใหม่ ผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก จากการจัดทำคู่มือของ กปภ. สำหรับประชาชน ในเรื่องการขอติดตั้งมาตรวัดน้ำรายใหม่ จะใช้ระยะเวลาดำเนินการรวม 22 วันทำการ จะช่วยทำให้ผู้ใช้น้ำประปามั่นใจในกระบวนการหรือขั้นตอนการทำงานที่ชัดเจน รวดเร็วและเพิ่มระดับความพึงพอใจให้อยู่ในระดับมากที่สุดได้

6. สรุป

ผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี สรุปได้ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีจำนวนประชากรในครัวเรือนไม่เกิน 5 คน มีรายได้เฉลี่ยของครัวเรือนจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 100,000 บาท ต่อเดือน และค่าน้ำประปาเฉลี่ยต่อเดือน ไม่เกิน 1,000 บาท ต่อเดือน

2. ข้อมูลพฤติกรรมของผู้ใช้น้ำประปา ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีพฤติกรรมการใช้น้ำประปาปริมาณมากในช่วงเวลา 05.01 - 09.00 น. และ 17.01 - 21.00 น. ในแต่ละวัน โดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการอุปโภค บริโภค การชำระค่าน้ำประปาที่ผู้ตอบแบบสอบถามนิยมใช้ คือ กปภ.สาขาอุดรธานี ผ่านเคาน์เตอร์เซอร์วิส กปภ.เขต 7 ผ่านแอปพลิเคชั่น ตามลำดับ ส่วนการร้องเรียนปัญหาต่างๆ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ไม่เคยร้องเรียน คิดเป็นร้อยละ 93 แต่ส่วนที่เคยร้องเรียน ส่วนมากจะร้องเรียนในเรื่องน้ำไม่ไหล ค่าน้ำแพงเกินจริง และน้ำไม่สะอาด ขุ่น มีกลิ่น ผ่านช่องทางโทรศัพท์สำนักงาน และ Cell Center ส่วนด้านคุณค่าที่ผู้ใช้น้ำต้องการมากที่สุด ผู้ตอบแบบสอบถามให้ความสำคัญในเรื่อง น้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น และผู้ใช้น้ำต้องการร้องเรียนปัญหาต่างๆ ช่องทางไหนมากที่สุด คือ ร้องเรียนผ่าน Facebook/Line/โทรศัพท์สำนักงาน

3. ข้อมูลความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา ความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาภาพรวมด้านคุณภาพน้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.97 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.57 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาภาพรวมด้านแจ้งหนี้และการชำระค่าน้ำประปา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.58 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาภาพรวมด้านการประชาสัมพันธ์ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.89 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.68 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาภาพรวมด้านความสัมพันธ์กับผู้ใช้น้ำ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.59 มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปาภาพรวมด้านบริการต่างๆ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.08 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.66 มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก

4. จากผลการศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) ในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี ผู้ศึกษาจึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ จึงเห็นความสำคัญในด้านการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปา ได้แก่ 1. เรื่องน้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไมมีกลิ่น คุณภาพน้ำเหมาะสมกับการอุปโภค บริโภค ใช้ในธุรกิจขนาดย่อม ใช้ในผู้ประกอบการร้านอาหาร และอื่นๆ 2. เรื่องน้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ สามารถจ่ายน้ำประปาได้ตลอดเวลา สามารถจ่ายน้ำตามช่วงเวลาความต้องการใช้น้ำมากได้ ตั้งแต่เวลา 05.01 - 09.00 น. และ 17.01 - 21.00 น. และจ่ายน้ำทั่วถึงผู้ใช้น้ำประปาทุกรายในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี สามารถนำข้อมูลการวิเคราะห์และทางสถิติที่ได้มาปรับปรุงและพัฒนาการให้บริการต่างๆ โดยใช้แนวคิด Business Model Canvas จำลองรูปแบบทางธุรกิจได้ ดังนี้ 1) กลุ่มลูกค้า (Customer Segment) ได้แก่ ผู้ใช้น้ำประปา (ประเภทที่ 1 ที่อยู่อาศัยและอื่นๆ) 2) การเสนอคุณค่า (Value Proposition) ได้แก่ น้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น และน้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ 3) ช่องทาง (Channel) ได้แก่ ช่องทางในการชำระค่าน้ำประปา 4) ความสัมพันธ์กับลูกค้า (Customer Relationships) ได้แก่ ความถูกต้องของใบแจ้งหนี้ค่าน้ำ ความสุภาพและความเอาใจใส่ของพนักงาน และความรวดเร็วในการติดตั้งมาตรวัดน้ำใหม่ 5) กระแสรายได้ (Revenue Streams) ได้แก่ รายได้จากการจำหน่ายน้ำและบริการ 92.39% และรายได้ค่าติดตั้งและวางท่อ 7.61% 6) ทรัพยากรหลัก (Key Resources) ที่ใช้ในการดำเนินการของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ) ได้แก่ ทรัพยากร เงินทุน และบุคลากร 7) กิจกรรมหลัก (Key Activities) ของการประปาส่วนภูมิภาคสาขาอุดรธานี (ชั้นพิเศษ) ได้แก่ ผลิตน้ำ-จ่ายน้ำประปา และการบริการผู้ใช้น้ำประปา 8) พันธมิตรหลัก (Key Partnerships) ได้แก่ กรมชลประทาน ผู้จำหน่ายวัสดุการผลิต (สารส้ม คลอรีน) วัสดุอุปกรณ์ (ท่อประปา มาตรวัดน้ำ) ผู้รับจ้างงาน

ก่อสร้าง ผู้รับจ้างงานบริการ และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 9) โครงสร้างต้นทุน (Cost Structure) ได้แก่ วัสดุการผลิต 28.84% ค่าเสื่อมราคาและค่าตัดจำหน่าย 21.31% ค่าใช้จ่ายพนักงาน 18.44% ค่าไฟฟ้า 9.39% ต้นทุนค่าติดตั้งและวางท่อ 7.80% วัสดุดำเนินการและซ่อมบำรุง 6.47% ค่าจ้างและบริการ 3.97% และอื่นๆ 3.78%

7.ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอิสระครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้ Business Model Canvas เพื่อมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี ผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะ ดังนี้ 1. ผู้ใช้น้ำประปาส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญในเรื่องน้ำประปาที่สะอาด ไม่ขุ่น ไม่มีกลิ่น และน้ำประปาไหลตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจ่ายน้ำ ดังนั้น กปภ.สาขาอุดรธานีควรให้ความสำคัญกับเรื่องดังกล่าว เพื่อลดการร้องเรียนปัญหาต่างๆ, เพิ่มระดับความพึงพอใจและมุ่งเน้นการเสนอคุณค่าให้กับผู้ใช้น้ำประปาได้ 2. การประชาสัมพันธ์ให้ผู้ใช้น้ำประปาในพื้นที่ดูแลของ กปภ.สาขาอุดรธานี ทราบถึงการหยุดจ่ายน้ำชั่วคราวให้ทั่วถึงพื้นที่ที่มีผลกระทบ เช่น การประชาสัมพันธ์ทาง Facebook Line การใช้รถประชาสัมพันธ์ในพื้นที่ที่มีผลกระทบ

8. เอกสารอ้างอิง

Alexander Osterwalder and Yves Pigneur .2016. **คู่มือสร้างโมเดลธุรกิจ Business Model Generation.** กรุงเทพฯ : วีเลิร์น.

การประปาส่วนภูมิภาค. 2559. **รายงานประจำปี 2559.** กรุงเทพฯ.

การประปาส่วนภูมิภาค.2560. **ประวัติของการประปาส่วนภูมิภาค.** ค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2561, จาก https://www.pwa.co.th/contents/about/history

ทิพวรรณ ฟุ่มมณี, สุวรรณี เดชวรชัย, ภีรทัทร ภักคีรี และเกิดศิริ ทองศิริ .2554. **อุตสาหกรรมการบริการ.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

นภดล ร่มโพธิ์. 2554. **การวัดความพึงพอใจลูกค้าและความพึงพอใจพนักงาน.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2560. **ความพึงพอใจของผู้บริโภค.** ค้นเมื่อ 2 เมษายน 2561, จาก http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sms/market/Unit1/MENUUNIT1.htm

วิศิน มหันนิรันดร์กุล .2551. **ถือหางเสือ ทะยานสู่มังกร ความสุขของผู้บริหาร.** กรุงเทพฯ : มิสเตอร์ก็อปปี้.

วุฒิ สุขเจริญ. 2555. **พฤติกรรมผู้บริโภค = Consumer Behavior.** กรุงเทพฯ : จี.พี.ไซเบอร์พรินท์.

อรลา สำรอง .2551. **จิตวิทยาการตลาดและผู้บริโภค.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

การนำเถ้าหนักชีวมวลมาเป็นวัสดุถมกลับในหลุมเจาะ

The Use of Bottom Ash from Biomass as Drill Hole Backfill

ณปภัช สมานวงศ์

อาจารย์ประจำ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

E-mail: Napaphat.sm@gmail.com

นลพรรณ ขันติกุลานนท์

อาจารย์ประจำ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

E-mail: bua_non@hotmail.com

จักรพงษ์ จิตต์จำนงค์

อาจารย์ประจำ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

E-mail: Alekjakkrapong@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าหนักชีวมวลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุถมกลับโดยใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนต์สำหรับการวิเคราะห์ธาตุ ค่ากำลังแรงอัด และค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักจากยางพารา ในการทดลองนี้ใช้เถ้าหนักเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5 ร้อยละ10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ซึ่งควบคุมให้เถ้าหนักมีการกระจายตัวของอนุภาค โดยแบ่งสภาพเป็นไม่บ่มน้ำ บ่มน้ำ 7 วัน และ บ่มน้ำ 28 วัน จากผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของมอร์ตาร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักยางพารา กำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักยางพาราแม้ว่าหน่วยน้ำหนักจะมีค่าเพิ่มขึ้น การพัฒนากำลังแรงอัดของมอร์ตาร์ที่บ่มน้ำ 28 วันจะเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละการแทนที่ปูนซีเมนต์ของเถ้ายางพาราลดลง กำลังแรงอัดของมอร์ตาร์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มน้ำเพิ่ม

คำสำคัญ : เถ้าหนัก ชีวมวล วัสดุถมกลับ กำลังแรงอัด

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate the basic properties of ash biomass can be utilized as backfill material using X-ray fluorescence (XRF) technique for analysis, compressive strength and density of mortar containing bottom ash from Para-rubber wood. In this experiment, bottom ash was used as cement supplementary material at 5% , 10% , and 15% by weight, which controlled bottom ash with particle size distribution. The conditions are not incubated, incubated 7 days and incubated 28 days. The results show that the density of mortar increases with Para ash replacement. The compressive strength of mortar decreases with Para ash replacement even with the increase in maximum unit weight. The compressive strength of mortar at incubated 28 days can be developed by replacing Para ash in cement increases when the percent of replacement of Para ash in cement decreased. The compressive strength of mortar increases as the curing time increases.

KEYWORDS : Bottom ash, Biomass, Backfill, Compressive strength

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัจจุบันเถ้าชีวมวลเป็นเถ้าที่เหลือจากวัสดุทางการเกษตรที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าและต้องนำไปกำจัดทิ้งเพราะมีปริมาณมาก ซึ่งอาจเป็นการทิ้งเพื่อถมที่หรือทิ้งในบ่อทิ้งที่เตรียมไว้ นอกจากการนำไปทิ้งแล้วเถ้าชีวมวลบางชนิดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นิโรจน์ (2557) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานคอนกรีต เถ้าชีวมวลที่มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้ ต้องมีลักษณะดังนี้ เป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกา หรือ ซิลิกาและอะลูมินาออกไซด์สูงโดยทั่วไปควรมากกว่าร้อยละ 50 ของทั้งหมด มีความละเอียดสูงหรือสามารถทำให้มีความละเอียดสูงได้ และไม่เป็นผลึกคือสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ได้ ซึ่งเถ้าชีวมวลที่เข้าข่ายในลักษณะข้างต้น ได้แก่ เถ้าจากการเผาเปลือกยางพารา (para ash) เถ้าจากการเผาแกลบ (rice husk ash) หรือเถ้าจากการเผาแกลบร่วมกับเปลือกไม้ (rice huskbark ash) และเถ้าจากการเผาชานอ้อย (bagasse ash) ประชุม (2553)

การสละหลุมถาวร (Plug and Abandonment) ส่วนใหญ่จะทำในหลุมสำรวจ แต่บางครั้งผลการเจาะหลุมเพื่อผลิตก็อาจเป็นหลุมแห้งได้หรือหลุมที่ไม่ใช้ประโยชน์แล้วจะต้องอุดหลุมด้วยซีเมนต์ป้องกันไม่ให้ของไหลที่มีอยู่ในชั้นหินไหลไปสู่ชั้นหินอื่นที่อาจทำลายชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่อยู่ใกล้เคียงหรือไหลเข้าไปปนเปื้อนชั้นน้ำใต้ดิน Mostafa et al. (2004) ในกรณีที่มีการทดสอบอัตราการไหลของหลุมต้องทำการอัดซีเมนต์ (Squeeze Cement) เข้าไปในชั้นหินที่ทดสอบทุกช่วงจากนั้นเติมน้ำโคลนลงในหลุมเพื่อรักษาสภาพสมดุลและติดตั้งตัวปิดกั้นหลุม (Bridge Plug) ในท่อกรุชั้นในสุดเหนือชั้นหินดังกล่าว บนตัวปิดกั้นหลุมนี้จะอุดซ้ำด้วยซีเมนต์ (มาตรฐานทั่วไปใช้ซีเมนต์หนาประมาณ 150 ฟุต) ถัดจากซีเมนต์ช่วงนี้จะเป็นน้ำโคลนอีกช่วงหนึ่ง และตามด้วยซีเมนต์โดยมีความหนาประมาณ 300-500 ฟุต การอุดซีเมนต์ในท่อกรุในชั้นถัดมาก็จะทำเช่นเดียวกับช่วงแรกเพียงแต่อาจไม่จำเป็นต้องมีตัวปิดกั้นหลุม Mostafa et al. (2005)

วัสดุถมกลับคือวัสดุเหลือใช้ เศษดิน หิน หางแร่ทิ้ง และของเสีย มาใช้ในการถมกลับเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการนำเถ้าหนักมาผสมกันระหว่างน้ำ ซีเมนต์ และเปลือกดินทิ้ง เพื่อใช้ประโยชน์ในการถม

กลับไปยังหลุมเจาะเก่าที่ไม่เสถียรและช่วยในการป้องกันการพังทลายของหลุม สำหรับปัจจุบันนี้มีการนำเถ้าหนักมาใช้ประโยชน์กันหลาย ๆ อย่าง เช่น ใช้เป็นมวลรวมละเอียดในแอลฟัลต์คอนกรีต ใช้เป็นตัวกลางปลูกพืช เป็นต้น ซึ่งเถ้าหนักถือว่าเป็นวัสดุที่เหลือใช้ในปัจจุบัน ถ้าสามารถนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ก็จะเกิดคุณค่าอย่างมากอีกทั้งยังเป็นการขจัดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย นอกจากนี้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาการใช้วัสดุปอซโซลานหรือเถ้าจากชีวมวลมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อพัฒนาให้สามารถต้านทานกำลังแรงอัด Waongkeo et al. (2012) และศึกษาอัตราส่วนผสมการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชีวมวลในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ของปูนซีเมนต์ พบว่าอัตราส่วนผสมของเถ้าชีวมวลที่เพิ่มขึ้นทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง โดยอัตราส่วนที่มีค่าเหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 30 Sinsiri et al. (2012) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจและได้ศึกษาความสามารถในการรับกำลังแรงอัด ความหนาแน่น และอัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของปูนซีเมนต์ เพื่อจะนำมาประยุกต์ใช้ในงานถมกลับภายในหลุมเจาะปิโตรเลียม อีกทั้งยังเป็นประโยชน์จากการใช้ของเหลือทิ้งที่ต้องได้รับการจัดการอย่างเหมาะสมอีกทางหนึ่งด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าหนักชีวมวลจากยางพาราเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเป็นวัสดุถมกลับได้

3. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้ประโยชน์จากเถ้าหนักชีวมวลเพื่อใช้ในงานถมกลับในหลุมเจาะปิโตรเลียม โดยทำการศึกษาที่ห้องปฏิบัติการสาขาเทคโนโลยีปิโตรเลียม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เถ้าหนักที่ใช้ คือ เถ้าหนักจากยางพารา

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบกึ่งปริมาณโดยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักในอัตราส่วนร้อยละ 5, 10 และ 15 ของน้ำหนัก

ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ที่มีผลต่ออายุการบ่มในสภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน

ทำการศึกษาอิทธิพลทางกลของมอร์ตาร์ที่ผลิตขึ้นจากปูนซีเมนต์ เปลือกดิน และเถ้าหนัก

4.ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

ในประเทศไทยมีการใช้วัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และได้ส่วนที่เป็นผลพลอยได้ คือ เถ้าหนัก ซึ่งเถ้าหนักสามารถใช้ในงานคอนกรีตได้เนื่องจากเป็นวัสดุปอซโซลาน มีสารจำพวกซิลิกาหรือซิลิกาและอะลูมินาปนอยู่ อีกทั้งเป็นวัสดุกองถมทิ้งค่อนข้างใหญ่ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าหนักเพื่อใช้ในงานถมกลับทางปิโตรเลียมยังมีอยู่น้อย หากนำเถ้าหนักมาใช้เป็นวัสดุประสานกับปูนซีเมนต์ อาจทำให้ได้วัสดุที่มีโครงสร้างแข็งแรง มีลักษณะเหมือนคอนกรีต และสามารถนำมาใช้งานคอนกรีตได้

5. วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ระเบียบวิจัย

5.1.1 ทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

ทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าหนักจากยางพารา โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี น้ำที่ใช้ในการผสมมอร์ตาร์ใช้น้ำปะปา

5.1.2 วิธีวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1) กำหนดแหล่งเถ้าหนักที่ใช้ในงานวิจัย โดยงานวิจัยนี้ใช้เถ้าหนักยางพาราจากจังหวัดสงขลา

2) เก็บตัวอย่างเถ้าหนัก ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเถ้าหนักดังกล่าว

3) ทำการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าหนักโดยนำเถ้าหนักไปบดให้มีขนาดเล็กลง และคัดขนาดเถ้าหนักผ่านตะแกรงคัดขนาด เบอร์ 30 ธีรวุฒิ และคณะ (2551) ก่อนนำมาศึกษา

4) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าหนัก คือ ตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

5) ศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อมอร์ตาร์ เช่น อิทธิพลของปริมาณวัสดุประสาน อิทธิพลของความหนาแน่น อิทธิพลของกำลังอัด และอิทธิพลของการบ่ม

5.1.3 การศึกษาความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นโดยใช้ไมโครมิเตอร์ในการวัดขนาดของมอร์ตาร์

1) ทำการทดสอบความหนาแน่นของมอร์ตาร์จากเถ้าหนักบดละเอียดนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ผสมใส่แบบหล่อทรงกระบอกขนาด 5×5 เซนติเมตร อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.6 วันโชค และคณะ (2560) โดยส่วนผสมมอร์ตาร์แสดงในตารางที่ 1

2) ภายหลังหล่อมอร์ตาร์ 24 ชั่วโมง นำมาบ่มน้ำสะอาด จากนั้นนำมาทดสอบความหนาแน่นในสภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ตามลำดับ การทดสอบความหนาแน่นใช้ตัวอย่างทดสอบอายุทดสอบละ 3 ก้อนตัวอย่างทดสอบ โดยความหนาแน่นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1)

$$D = \frac{W}{A} \tag{1}$$

เมื่อกำหนดให้ D คือ ความหนาแน่นหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (Kg/m^3), W คือ น้ำหนักของก้อนมอร์ตาร์หน่วยเป็นกิโลกรัม (Kg), A คือ ปริมาตรของก้อนมอร์ตาร์หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m^3)

5.1.4 การศึกษากำลังอัด

การศึกษากำลังอัดโดยหลังจากทดสอบความหนาแน่นแล้วนำก้อนมอร์ตาร์มาทดสอบกำลังอัด

1) เตรียมตัวอย่างมอร์ตาร์ที่บ่มน้ำสะอาดที่สภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ตามลำดับ การทดสอบกำลังอัดใช้ตัวอย่างทดสอบอายุทดสอบละ 3 ก้อนตัวอย่างทดสอบและหาค่าเฉลี่ยของกำลังอัด

2) เลือกผิวทดสอบที่เรียบ จากนั้นนำมาทดสอบกำลังอัดประลัยตามมาตรฐาน ASTM C684 ที่สภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน ตามลำดับ

3) วางก้อนตัวอย่างบนแท่นกดด้านล่าง โดยว่างในตำแหน่งที่อยู่กึ่งกลางของแท่นกด (แผ่นของแท่นกดทั้งด้านบนและด้านล่างต้องสะอาด)

4) เปิดเครื่องกดตัวอย่าง โดยเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตรา 140 Ksc/min จนกระทั่งก้อนตัวอย่างแตกละเอียด และบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของมอร์ตาร์ที่ใช้ศึกษา

% Cement	Cement (g)	Top soil (g)	Bottom Ash (g)	Water (g)
5%	11.5	161.0	57.5	41.0
10%	23.0	161.0	46.5	41.0
15%	34.5	161.0	43.5	41.0

5.2 วิธีเก็บข้อมูล

การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าหนักชีวมวลจากยางพารา มีวิธีการเก็บและรวบรวมข้อมูลใช้ในงานวิจัย ดังนี้

1) ทำการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของเถ้าหนักเพื่อเป็นแนวทางการศึกษา ทำการศึกษาข้อมูลย้อนหลังจนถึงปัจจุบันขององค์ประกอบทางเคมีของเถ้าหนัก

2) วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของเถ้าหนัก โดยส่งตัวอย่างวิเคราะห์ทดสอบ ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

3) ทำการบันทึกผลทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างมอร์ตาร์ ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

5.3 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

5.3.1 เครื่องมือ

1) เบ้าหล่อคอนกรีต
2) ตะแกรงคัดขนาด
3) เครื่องทดสอบแรงอัด
4) ถังน้ำ
5) เครื่องชั่งน้ำหนัก

5.3.2 วัสดุอุปกรณ์

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และน้ำ
2) เถ้าหนักยางพารา
3) เปลือกดิน

5.4 คำอธิบายสัญลักษณ์

A5 = ซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าหนักยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

A10 = ซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าหนักยางพาราร้อยละ 10 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

A15 = ซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าหนักยางพาราร้อยละ 15 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน

6. ผลการวิจัย

6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุถมกลับ

ผลการทดสอบเพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุถมกลับโดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรมิเตอร์ (X-ray Fluorescence Spectrometer-XRF) จากศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ผลการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายางพารา ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายางพารา

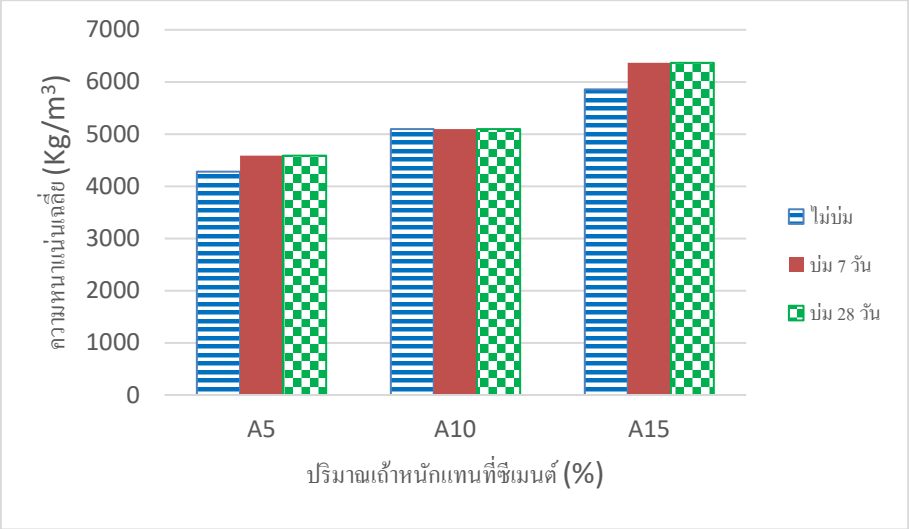
องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละขององค์ประกอบทางเคมี
โซเดียมออกไซด์ Na_2O	-
แมกนีเซียมออกไซด์ MgO	1.03
อะลูมิเนียมออกไซด์ Al_2O_3	3.95
ซิลิคอนไดออกไซด์ SiO_2	30.33
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ SO_3	0.35
โพแทสเซียมออกไซด์ K_2O	2.84
แคลเซียมออกไซด์ CaO	7.5
ไทเทเนียมไดออกไซด์ TiO_2	0.21
เฟอร์ริกออกไซด์ Fe_2O_3	0.65
ฟอสฟอรัสเพนต็อกไซด์ P_2O_5	0.94
คอปเปอร์ออกไซด์ CuO	0.07

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า วัสดุเถ้ายางพารามีองค์ประกอบของซิลิคอนไดออกไซด์ (ร้อยละ 30.33) อลูมิเนียมออกไซด์ (ร้อยละ 3.95) ดังนั้นเถ้ายางพาราอาจจะมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน โดยก่อให้เกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) และ/หรือ แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (CAH) หลังจากที่ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานที่เหมาะกับงานคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้น เช่น กำลังอัด ความทนทาน Malhotra et al. (1996)

6.2 ความหนาแน่นของวัสดุถมกลับ

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของมอร์ตาร์ผสมเถ้าหนักยางพาราที่ 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งสภาพการบ่ม คือ ไม่บ่ม บ่มน้ำ 7 วัน และบ่มน้ำ 28 วัน แสดงในรูปที่ 1 เมื่อทำการบ่มก้อนมอร์ตาร์เป็นเวลา 7 วัน และ 28 วัน โดยหลังจากการบ่มได้ทำการวัดการขยายตัวและชั่งน้ำหนัก พบว่าการความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาร์ที่มีการบ่มมีค่ามากกว่าก้อนมอร์ตาร์ที่ไม่บ่ม และการแทนที่ของเถ้ายางพาราในปูนซีเมนต์จากร้อยละ 5 (A5) ถึง 15 (A15) ความหนาแน่นจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นของก้อนมอร์ตาร์ และจาก

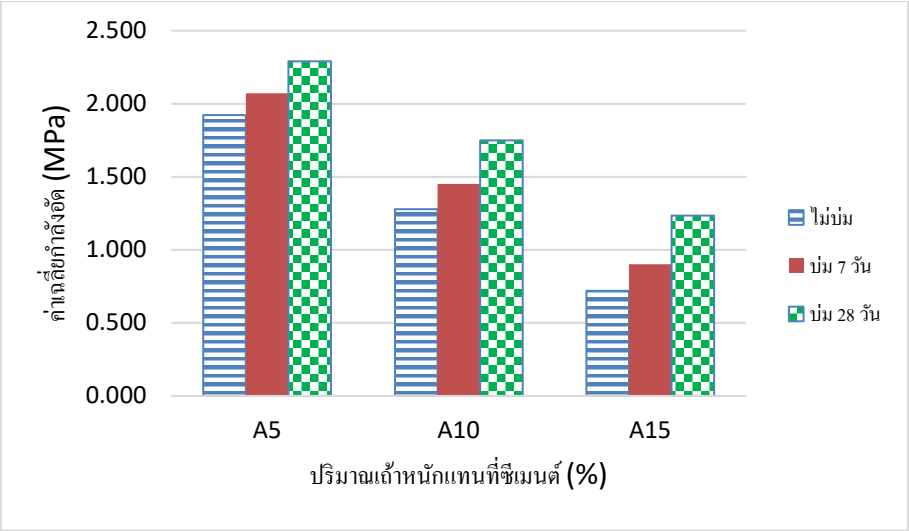
อนุภาคของเถ้ายางพารามีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำมาก สาเหตุมาจากเถ้ายางพารามีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ อีกทั้งจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายางพาราที่มีอัลคาไลน์ในสัดส่วนที่สูงจึงทำให้การขยายตัวมีค่ามากขึ้น Hewlett (1996)



รูปที่ 1 ค่าความหนาแน่นของก้อนมอร์ตาร์กับอัตราส่วนผสมของเถ้ายางพารา โดยแบ่งสภาพเป็น ไม่บ่มน้ำ บ่มน้ำ 7 วัน และ บ่มน้ำ 28 วัน

6.3 การทดสอบกำลังอัดของก้อนมอร์ตาร์

ผลการทดสอบกำลังอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าหนักยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 และ15 แสดงในรูปที่ 2 ผลการทดสอบการบ่มที่สภาพไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน พบว่ากำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ผสมเถ้าหนักยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 15 (A15) มีค่าต่ำกว่ามอร์ตาร์ในทุกส่วนผสม การแทนที่เถ้าหนักในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ลดลง ยกตัวอย่างเช่น ที่อายุบ่ม 28 วัน กำลังอัดของมอร์ตาร์ A5, A10 และ A15 มีค่าเท่ากับ 2.30, 1.75 และ 1.24 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และหากพิจารณาจากรูปที่ 2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักกำลังอัดมีแนวโน้มเริ่มลดลง และในทุกช่วงอายุการบ่มน้ำกำลังอัดของมอร์ตาร์ A5 ที่อายุการบ่มน้ำ 28 วัน มีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์อื่น ๆ การพัฒนากำลังอัดมอร์ตาร์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น เช่น มอร์ตาร์ A5 ที่สภาพอายุการบ่ม คือ ไม่บ่ม บ่ม 7 วัน และบ่ม 28 วัน มอร์ตาร์มีกำลังอัดเท่ากับ 1.92, 2.07 และ 2.29 เมกะปาสคาล จะเห็นได้ว่าการลดของอัตราส่วนกำลังอัดมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกันกับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกดินทั้งสองค่า หรืออาจกล่าวได้ว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าหนักยางพารายังไม่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของเถ้ายางพาราในด้านกำลังอัด อย่างไรก็ตาม ที่อายุการบ่มน้ำที่มากขึ้นส่งผลให้กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งต้องใช้เวลานานในการพัฒนาปฏิกิริยา สำเร็จ (2556)



รูปที่ 2 ค่ากำลังอัดของก้อนมอร์ตาร์กับอัตราส่วนผสมของเถ้ายางพารา โดยแบ่งสภาพเป็นไม่บ่มน้ำ บ่มน้ำ 7 วัน และ บ่มน้ำ 28 วัน

6.4 อิทธิพลของอายุการบ่ม

จากการทดสอบหาค่ากำลังแรงอัด โดยพิจารณาอายุการบ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาที่ทุกอายุการบ่ม พบว่าอายุการบ่มมีผลต่อการพัฒนากำลังแรงอัดและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อย ๆ การเพิ่มขึ้นของกำลังแรงอัดตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชั่นของอนุภาคซีเมนต์กับน้ำในก้อนตัวอย่าง ทำให้เกิดการยึดเกาะของเม็ดดินเข้าด้วยกัน เป็นผลทำให้ก้อนมอร์ตาร์สามารถรับแรงอัดได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อระยะเวลาการบ่ม 28 วัน จะเห็นการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้ายางพาราประกอบด้วยซิลิกาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน หลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งเป็นผลทำให้อายุการบ่มเพิ่มขึ้น ก้อนมอร์ตาร์สามารถพัฒนากำลังแรงอัดเพิ่มขึ้น รุ้งลาวัลย์ และคณะ (2546)

7. สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปแนวทางในการพัฒนารูปแบบของวัสดุชีวมวลที่ใช้ในการผสมซีเมนต์ โดยวัสดุชีวมวลที่ใช้ คือเถ้าหนักยางพารา พบว่าอัตราส่วนของวัสดุเถ้าหนักยางพารา และระยะเวลาการบ่มมีผลต่อกำลังแรงอัดของมอร์ตาร์ โดยที่อัตราส่วนเถ้าหนักยางพาราแทนปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ที่ระยะการบ่ม 28 วัน จะให้กำลังอัดสูงสุด ส่วนในระยะเวลาในการบ่มที่ 0 วัน และ 7 วัน จะมีกำลังแรงอัดลดลงตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการบ่มมีผลต่อการพัฒนากำลังอัดของมอร์ตาร์ในทุก ๆ อัตราส่วนผสม ซึ่งมอร์ตาร์ที่ไม่มีการบ่มจะมีกำลังอัดน้อยกว่ามอร์ตาร์ที่มีการบ่มน้ำ อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาของการบ่มน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้การพัฒนากำลังอัดดีขึ้น อีกทั้งกำลังอัดของมอร์ตาร์มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเถ้าหนักยางพารา แม้ว่าความหนาแน่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สิ่งนี้แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นไม่ได้เป็นตัวควบคุมกำลังอัด แต่ตัวแปรหลักที่ควบคุมการพัฒนากำลังอัดคือปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดจากปูนซีเมนต์ Chindaprasirt et al. (2010)

8. อภิปรายผล

ก้อนตัวอย่างที่ผสมเถ้าหนักจากยางพาราสามารถรับกำลังแรงอัดสูงสุด ที่มีระยะการบ่ม 28 วัน โดยลักษณะของการรับแรงอัดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีระยะการบ่มเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาพบว่าเถ้ายางพาราที่นำมาศึกษาสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้งโดยการนำมาแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วน โดยที่ไม่ส่งผลเสียต่อกำลังมอร์ตาร์และยังสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์ลงได้ การวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาวัสดุที่ใช้ในงานถมกลับหลุมเจาะได้ต่อไป

9. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุปอซโซลานคือเถ้าหนักยางพาราแทนที่ปูนซีเมนต์เพื่อศึกษาด้านกำลังอัด ความหนาแน่น และระยะเวลาการบ่ม ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจศึกษาความละเอียดของเถ้าหนักต่อคุณสมบัติทางด้านกำลังแรงอัด อายุการบ่มในระยะเวลาที่มากขึ้น ความทนทานต่อสารเคมีต่าง ๆ และศึกษาโครงสร้างภายในของมอร์ตาร์เพื่อสร้างความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมปิโตรเลียมในการใช้เถ้าหนักในงานถมกลับในหลุมเจาะที่ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิตและเป็นการพัฒนางานทางด้านการถมกลับของประเทศไทยอย่างยั่งยืนและต่อเนื่องต่อไป

10.เอกสารอ้างอิง

ประชุม คำพุฒ. 2553. **การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตบล็อกดินขาวผสมเถ้าแกลบ**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธัญบุรี.

นิโรจน์ เงินพรหม. 2557. **การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรังปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

Mostafa B., Fall M. and Belem T. 2004. **A contribution to understanding the hardening process of cemented pastefill**, Minerals Engineering, 141-152**.**

Mostafa B., Fiset J.F., Bussiere B., Villeneuve M. and Plante B. 2005. **Sludge recycling within Cemented paste backfill: Study of the mechanical and leachability properties**, Minerals Engineering.

Malhotra V.M. and Mehta P.K. 1996. **Pozzolanic and Cementitious Materials**. Canada: Gordon and Breach Publishers.

Wongkeo, W., Thongsanitgarn, P., Pimraksa, K., Chaipanich, A. 2012. **Compressive strength, flexural strength and thermal conductivity of autoclaved concrete block made using bottom ash as cement replacement materials**, Material and Design, 35: 434-439.

Sinsiri, T., Kroehong, W., Jaturapitakkul, C. Chindaprasirt, P. 2012. **Assessing the effect of biomass ashes with different finenesses on the compressive strength of blended cement paste**, material and Design, Vol. 42, pp. 424-433.

ธีรวุฒิ มูฮำหมัด และสุรินทร์ มายูร. 2551. **การศึกษาผลกระทบของเถ้าลอยปาล์มน้ำมันจากแหล่งต่างๆ ต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์,** การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 13, 14-16 พฤษภาคม, โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา, จ.ชลบุรี.

วันโชค เครือหงส์ และอภิวิชญ์ พูลสง. 2560. **สมบัติทางกลโครงสร้างจุลภาค การนำความร้อนและการหดตัวแห้งของคอนกรีตมวลเบาเซลลูล่าผสมเถ้าชานอ้อย**, The Journal of Industrial Technology, Vol. 13, No.2.

Hewlett, P. 1998. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**, Edward Arnold Ltd., New York, 4th Edition.

สำเร็จ สารมาคม. 2556. **การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน**, วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

รุ้งลาวัลย์ ราชัน และสุขสันต์ หอพิบูลย์สุข. 2546. **การศึกษาการอัดตัวคายน้ำและการซึมผ่านน้ำของดินเหนียวซีเมนต์**, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, 14, 3.

Chindaprasirt, P., Jaturapitakkul, C., Sinsiri, T. 2007. **Effect of fly ash fineness on microstructure of blended cemented paste**, Construction and Building Materials, Vol.21, No.7, pp. 1534-1541.

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซี-ไฟโคไซยานิน เป็นรีเอเจนต์ในแลบออนอะชิพเพื่อหาปริมาณโลหะหนักบางชนิด

THE POSSIBILITY STUDY TO USE C-PHYCOCYANIN AS A REAGENT IN LAB ON A CHIP FOR DETERMINATION OF SOME HEAVY METALS

ดวย เฮียน โงวเยน
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเคมี และหน่วยวิจัยนวัตกรรมเคมีสีเขียว
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: duyhien105@gmail.com
เทพปัญญา เจริญรัตน์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: thepcharoen4@gmail.com
นภาพร ยังวิเศษ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาเคมี และหน่วยวิจัยนวัตกรรมเคมีสีเขียว
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
E-mail: nyoungvises@hotmail.com, napaporn@tu.ac.th

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แลบออนอะชิพร่วมกับการใช้ซี-ไฟโคไซยานินซึ่งเป็นรีเอเจนต์ธรรมชาติจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินเพื่อการวิเคราะห์โลหะหนักบางชนิด โดยพบว่าไอออนเงินจะลดการดูดกลืนแสงของซี-ไฟโคไซยานิน ที่ความยาวคลื่น 619 นาโนเมตรได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับไอออนตัวอื่นๆที่ศึกษา ออกแบบแลบออนอะชิพโดยศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบเครือข่ายร่องขนาดไมครอน 2 รูปแบบ ในแผ่นพีเอ็มเอ็มเอที่มีขนาดเท่ากันคือ 30 x 30 มิลลิเมตรและหนา 10 มิลลิเมตร การสร้างเครือข่ายร่องขนาดไมครอนใช้การเจาะด้วยเครื่องคาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ ขนาดของร่องกว้าง 250 ไมครอนและลึก 450 ไมครอน ป้อนสารซี-ไฟโคไซยานินและน้ำผ่านปั๊มหลอดฉีดยา และฉีดสารมาตรฐานไอออนเงินผ่านวาล์ว 6 พอร์ต ไอออนเงินจะทำปฏิกิริยากับซี-ไฟโคไซยานิน ในชิพและถูกตรวจวัดด้วยเซนเซอร์วัดแสง พบว่าทั้งสองรูปแบบได้ ช่วงความเป็นเส้นตรงของไอออนเงินอยู่ระหว่าง 0.20-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเครือข่ายในชิพแบบที่มีรูปแบบสปริท 9 ตำแหน่ง ให้สมการกราฟเส้นตรง $y = 13.8249x + 2.8769$ และ R^2 0.9981 ขณะที่รูปแบบไม่มีสปริท สมการเส้นตรง $y = 8.1178x + 2.3942$ และ R^2 0.9935

คำสำคัญ: แลบออนอะชิพ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน เคมีวิเคราะห์สีเขียว ซี-ไฟโคไซยานิน

ABSTRACT

In this research, the possibility to apply lab on a chip incorporating to natural reagent, C-phycocyanin (C-PC) from blue green algae, has been studied for utilizing in some heavy metal analysis. It was found that the absorbance of C-PC) has been considerably decreased (at wavelength of 619 nm) in the presence of silver ion. Two platforms have been designed and studied, using the same size of PMMA (30 x30 mm with 10 mm, thickness) as a base plate for microfabrication. The CO_2 laser was applied to etch two different the microchannel networks in each plate. The size of microchannel was 250 micron width and 450 micron depth. The result showed that both platforms provided good linearity in the concentration range of silver 0.20-2.0 mg l^{-1}. Moreover, the microchannel network with and without 9-split platform presented the linear equation y = 13.8249x+ 2.8769 with R^2 0.9981 and y = 8.1178x + 2.3942 with R^2 0.9935, respectively.

KEYWORDS: lab on a chip, blue green algae, green analytical chemistry, C-phycocyanin

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบัน“Green Analytical Chemistry” หรือเคมีวิเคราะห์สีเขียว ได้รับการยอมรับมากขึ้นเนื่องจากหลักการของเคมีวิเคราะห์สีเขียวทำให้กระบวนการทางเคมีมีการลดปริมาณ มีการยกเลิกการใช้หรือการผลิตสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มีการใช้ระบบการวิเคราะห์ที่สะอาด ตลอดจนลดการสร้างมลภาวะให้สิ่งแวดล้อม และ/หรือหลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ที่สร้างของเสียซึ่งเป็นมลพิษมากกว่าสารที่ต้องการวิเคราะห์ (Armenta et al. 2008) ซึ่งเห็นแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1993 ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้เคมีวิเคราะห์สีเขียว เช่น ก) การหาปริมาณกรดอะซิติกโดยใช้ปูนขาวไฮเดรตจากธรรมชาติและใช้สารสกัดจากขมิ้นชันเป็นอินดิเคเตอร์ (Grudpan et al. 2011) เพื่อลดการใช้รีเอเจนต์ที่อันตรายและค้นหารีเอเจนต์จากธรรมชาติมาช่วยในงานวิเคราะห์ ข) การวิเคราะห์เหล็กจากสารสกัดจากใบฝรั่ง (Settheeworrarit et al. 2005) และจากสารสกัดมะขามป้อม (Jaikrajang et al. 2018) ค) การวิเคราะห์อลูมิเนียมโดยใช้ระบบสารสกัดจากรากยอ(Tontrong et al. 2012) ง) การใช้สารสกัดจากฟักทองในการวิเคราะห์เบนโซอิวเปอร์ออกไซด์ (Supharoek et al. 2017) จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้พบว่าการใช้รีเอเจนต์จากธรรมชาติมาช่วยในงานวิเคราะห์เพื่อลดการทิ้งของเสียที่เป็นมลพิษกับสิ่งแวดล้อมแล้วยังปลอดภัยต่อผู้วิเคราะห์ และแหล่งของสารเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากพืชที่ปลูกในประเทศ ทำให้ลดการเสียดุลการค้าในการนำเข้าสารเคมีจากต่างประเทศอีกด้วย

นอกจากจากการใช้รีเอเจนต์จากธรรมชาติ ในการพัฒนาเคมีวิเคราะห์สีเขียวยังรวมถึงการย่อส่วนระบบของเคมีวิเคราะห์ให้มีขนาดเล็ก (miniaturized system) และเพิ่มประสิทธิภาพการวิเคราะห์ ซึ่งระบบการวิเคราะห์ย่อส่วนขนาดเล็กเริ่มในปี ค.ศ. 1979 Terry จากมหาวิทยาลัยแสตนด์ฟอร์ด สหรัฐอเมริกา ได้นำเสนอแก๊สโครมาโทกราฟีบนแผ่นซิลิกอนขนาด 5 เซนติเมตร ซึ่งถือเป็นงานชิ้นแรกของการออกแบบและสร้างแลบออนอะชิพ (Lab-on-a chip) เพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี โดยใช้เทคโนโลยีของการทำแผงวงจรไฟฟ้า ซึ่งระบบสามารถใช้แยกแก๊สผสมไฮโดรคาร์บอนได้ภายใน 10 วินาที (Terry et al. 1979) อย่างไรก็ตามแลบออนอะชิพมีการเติบโตอย่างเห็นได้ชัดในปลายคริสต์ทศวรรษ 1980 และต้นทศวรรษ 1990 จนกระทั่งปี ค.ศ.2002 มีบทความปริทัศน์เกี่ยวกับ

การย่อส่วนระบบวิเคราะห์ทั้งระบบ (Micro Total Analysis System) หรือแลบออนอะชิพ ซึ่งรวบรวมการประยุกต์ใช้งาน โดยเฉพาะทางชีวการแพทย์ (Auroux et al. 2002) และถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์โลหะหนักบางชนิดที่พบในสิ่งแวดล้อมเช่นการวิเคราะห์ไอออนเหล็กในน้ำตัวอย่าง (Youngvises et al. 2015) งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้แลบออนอะชิพในการวิเคราะห์ไอออนคลอไรด์ ไนเตรต ไนไตรต และซัลแฟต ในสิ่งแวดล้อม (Freitas et al. 2016) แลบออนอะชิพถูกใช้ในการตรวจยาเสพติดเช่นเมทแอมเฟตามีน (Lloyd et al. 2013) การตรวจวิเคราะห์สังกะสีในยาเม็ด(AlSuhaimi et al. 2009) และการตรวจสารแอลฟาทอกซินในอาหาร(Uludag et al. 2016) เป็นต้น

การหาปริมาณโลหะหนักโดยทั่วไปนิยมใช้ 1) เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี (Atomic Absorption Spectrometry, AAS)) (Bhuyan et al. 2017) 2) เทคนิคอินดักทีฟลี่ คับเปิ้ล พลาสมา-ออฟติคอล อิมิสชั่น สเปกโทรเมทรี(Inductively Coupled Plasmas-Optical Emission Spectrometry, ICP-OES)(Harris et al. 2018) ซึ่งทั้งสองเทคนิคเป็นการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพราะเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์มีขนาดใหญ่ และ 3) เทคนิคการทำปฏิกิริยาโลหะกับลิแกนด์และการวัดการดูดกลืนแสง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้รีเอเจนต์ที่อันตราย (Ma et al. 1996)

ซี-ไฟโคไซยานินเป็นรงควัตถุประกอบสีน้ำเงินซึ่งจัดอยู่ในพวกรงควัตถุประกอบประเภทไฟโคบิลิน (phycobilin) มีอยู่ในสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน มีการนำไปใช้ประโยชน์เป็นสีผสมอาหารธรรมชาติ และมีการวิจัยใช้เป็นฟลูออเรสเซนส์โพรบชีวภาพสำหรับไอออนโลหะหนักเช่นเงิน โครเมียม ตะกั่ว ปรอทและทองแดง เนื่องจากไอออนเหล่านี้สามารถเกิดสารเชิงซ้อนกับซี-ไฟโคไซยานินทำให้ฟลูออเรสเซนส์ของซี-ไฟโคไซยานินลดลง(Han et al. 2018) และสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างไอออนของโลหะและซี-ไฟโคไซยานิน ทำให้ได้ค่าคงที่การเกิดสารประกอบชนิดต่างๆ (Gelagutashvili 2013)

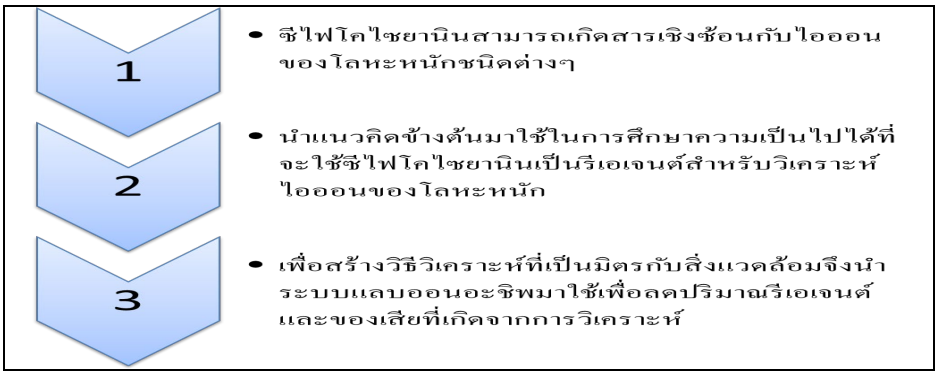
ในการวิจัยนี้สนใจการนำซี-ไฟโคไซยานินจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาเป็นรีเอเจนต์ในการวิเคราะห์โลหะหนักบางชนิดโดยใช้การวัดการดูดกลืนแสงโดยสเปกโทเมตรี และศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำมาวิเคราะห์ในแลบออนอะชิพ เพื่อลดการนำเข้าสารเคมีและลดการใช้สารเคมีที่อันตราย และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ซี-ไฟโคไซยานินเป็นรีเอเจนต์สำหรับหาปริมาณไอออนของโลหะหนักบางชนิดโดยวิธีสเปกโทรโฟโทเมตรี(Spectrophotometry)

(2) เพื่อออกแบบแลบออนอะชิพที่เหมาะสมสำหรับการหาปริมาณโลหะหนักบางชนิด

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

การวิจัยนี้เป็น Experimental Research

สารเคมี

สารเคมีที่ใช้เป็นเกรดสำหรับงานวิเคราะห์ (AR grade) ของบริษัทคาร์โล เออร์บา(ฝรั่งเศส) ประกอบด้วยซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) และ แอมโมเนียมเฟอรัสซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต ($NH_4FeSO_4.6H_2O$) นอกจากนี้ใช้สารละลายมาตรฐาน (AAS grade) ความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตรทั้งหมด 9 ชนิดของบริษัทเมอร์ค (เยอรมัน)ได้แก่สารละลายคอปเปอร์ไนเตรต ($Cu(NO_3)_2$ เฟอริกไรเตรต($Fe(NO_3)_3$) แมงกานีสไนเตรต ($Mn(NO_3)_2$) สังกาสีไนเตรต($Zn(NO_3)_2$) โครเมียมไนเตรต($Cr(NO_3)_3$) นิเกิลไนเตรต($Ni(NO_3)_2$) แมกเนเซียมไนเตรต ($Mg(NO_3)_2$) อลูมิเนียมไนเตรต($Al(NO_3)_3$) และสารละลายทินคลอไรด์($SnCl_4$) และน้ำที่ใช้ในการทดลองคือน้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)

เครื่องมือ

1) เครื่องอัลตราไวโอเลตวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UV1700 ประเทศญี่ปุ่น

2) ปั๊มหลอดฉีดยายี่ห้อ Longer Pump รุ่น LSP 10-1B ประเทศจีน

3) เครื่องวัดแสงแบบ optic fibre ยี่ห้อ Ocean Optics รุ่น USB2000 ประเทศสหรัฐอเมริกา

4) เครื่องตัดเลเซอร์ (ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์) รุ่น Laser1325 ยี่ห้อ CNCBro ประเทศจีน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมสารละลายต่างๆ

1) สารละลาย Ag^+ 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่ง $AgNO_3$ ที่อบแห้ง 0.1575 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน จนมีปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร

2) สารละลาย Fe^{2+} 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชั่ง $NH_4FeSO_4.6H_2O$ 0.3514 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน จนมีปริมาตร 50.00 มิลลิลิตร

3) สารละลายซี-ไฟโคไซยานินเข้มข้น 1.3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

สารละลายซี-ไฟโคไซยานินสกัดจากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยวิจัยแพลงตอนและสาหร่าย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ นำมาเจือจางให้มีความเข้มข้น 0.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ด้วย 0.1 โมลาร์อะซีเตตบัฟเฟอร์ พีเอช 7 ในขวดปริมาตร 100.00 มิลลิลิตร

4) สารละลายบัฟเฟอร์ acetate 0.1 โมลาร์

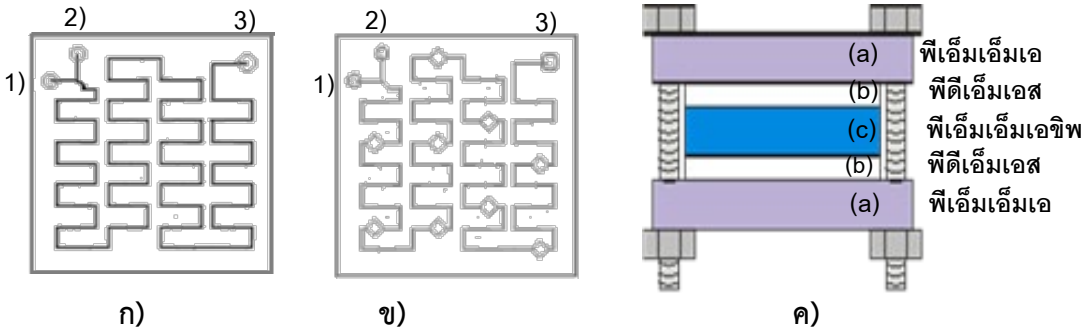
ชั่งโซเดียมอะซีเตต 5.8 กรัม ละลายในน้ำ 500 มิลลิลิตรเติมกรดอะซิติก 1.8 กรัม ปรับพีเอชด้วยกรดไฮโดรคลอริก 1 โมลาร์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 โมลาร์ให้ได้พีเอชที่ต้องการ

4.2 การศึกษาการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินที่ผสมไอออนโลหะชนิดต่างๆที่พีเอชต่างๆ

นำสารละลายสารละลายซี-ไฟโคไซยานินเจือจางให้มีความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยใช้อะซีเตตบัฟเฟอร์พีเอช 7 เป็นตัวทำละลายในขวดปริมาตร 10.00 มิลลิลิตรเป็นสารละลายควบคุม เตรียมสารละลายในขวดปริมาตร 10.00 มิลลิลิตรอีก 11 ขวดที่มี ซี-ไฟโคไซยานินเท่ากับขวดแรก แต่เติมไอออนเหล่านี้ Cu^{2+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Cr^{3+}, Ni^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, Sn^{2+} และ Ag^{+} ให้มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเติมบัฟเฟอร์จนถึงขีดปริมาตร ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที แล้วนำสารละลายทั้ง 12 ขวดวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตรโดยใช้เครื่องยูวีวิสซิเบิลของยี่ห้อชิมัสซึ ประเทศญี่ปุ่น และทำการศึกษาที่พีเอช 2-12 โดยใช้อะซีเตตบัฟเฟอร์และปรับพีเอชด้วย 1 โมลาร์ของสารละลายกรดไฮโดรคลอริคหรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

4.3 การออกแบบและสร้างแลบออนอะชิพ

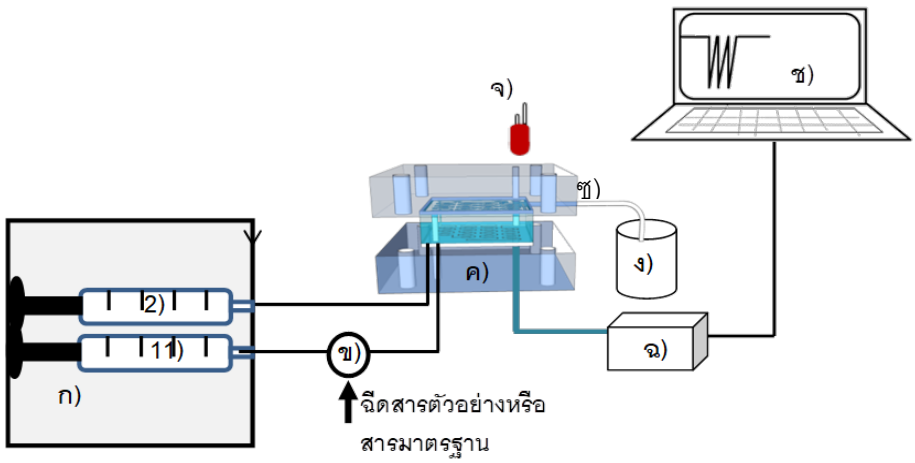
มีงานวิจัยเพื่อหาปริมาณ buspirone hydrochloride โดยการออกแบบรูปแบบแลบออนอะชิพที่มีส่วนสปริท เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำปฏิกิริยา ให้มีการผสมได้ดีขึ้นในชิพ(Al Lawati et al. 2014) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้สร้าง รูปแบบในแลบออนอะชิพ 2 รูปแบบดังรูปที่ 2 ก (ไม่มีการสปริท) และ 2 ข(มีส่วนสปริท 9 ตำแหน่ง) เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมสำหรับเป็นส่วนทำปฏิกิริยาระหว่างไอออนของโลหะกับซี-ไฟโคไซยานิน ใช้โปรแกรม CorelDraw X4 ในการเขียนแบบ และส่งเข้าเครื่องเลเซอร์เพื่อสร้างช่องขนาดไมครอนบนแผ่นโพลีเมทธิวเมทธาอะคิเลต(พีเอ็มเอ็มเอ) ซึ่งมีความหนา 10 มิลลิเมตร ให้มีร่องขนาด 250 ไมครอน ลึก 450 ไมครอนให้มีเครือข่ายตามรูปที่ 2ก-ข ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้รองรับการทำปฏิกิริยา และเจาะทะลุแผ่นพีเอ็มเอ็มเอในตำแหน่งที่ 1) และ 2) เพื่อป้อนสาร (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร) ขณะที่เจาะทะลุตรงตำแหน่งที่ 3) เพื่อเป็นส่วนตรวจวัดด้วยเครื่องมือทางแสง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร) จากนั้นตัดแผ่นให้มีขนาด 30 x30 มิลลิเมตร หนา 10 มิลลิเมตร ประกบด้านบนและล่างด้วยแผ่นโพลีไดเมทธิวไซลอกเซน(พีดีเอ็มเอส) หนา 1.5 มิลลิเมตร และล๊อคชิพโดยการประกบหรือ clamp ด้วยแผ่นพีเอ็มเอ็มเอหนา 5 มิลลิเมตรอีก 2 แผ่นที่ยึดด้วยสกรูทั้ง 4 มุม ให้แน่นตามรูปที่ 2 (ง) เพื่อป้องกันการรั่วของสารละลาย ทำให้เกิดเป็นแซนวิชชิพ 3 ชั้น จากนั้นต่อท่อนำเข้าทั้ง 2 ช่อง ตำแหน่งที่ 1) และ 2) ในรูปที่ 2 ก และ ข ด้วยท่อพีทีเอฟอีขนาดช่องภายใน 0.5 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.6 มิลลิเมตร และช่องทางออกดังรูปที่ 3 สำหรับให้สารละลาย ไหลออก



รูปที่ 2 แผ่น พีเอ็มเอ็มเอ ขนาด 30x30 มิลลิเมตร มีรูปแบบเครือข่ายซึ่งเป็นช่องขนาด 250 ไมครอน โดยมีสองรูปแบบ แบบ (ก)ไม่มีการสปริท (ข) มีสปริท 9 ตำแหน่ง โดยตำแหน่ง 1) และ 2) เป็นทางเข้าของสาร และตำแหน่ง 3) เป็นตำแหน่งตรวจวัดที่จะต่อกับใยแก้วนำแสงที่เชื่อมต่อกับตัวตรวจวัด (ค) เป็นภาพการวางแต่ละชั้นในการประกอบชิพ โดย พีเอ็มเอ็มเอคู่ (a)ที่ทำหน้าที่ยึดแผ่นพีดีเอ็มเอสทั้งสอง(b) ให้ติดกับ แผ่นชิพพีอ็มเอ็มเอ (c) ที่อยู่ตรงกลาง และใช้สครูขันให้แน่น

4.3 การทำงานของระบบไมโครโฟลอินเจ็คชัน อะนาลิซิส

ระบบไมโครโฟลอินเจคชั่นอะนาลิซิสประกอบด้วยปั๊มหลอดฉีดยา (แอลเอสพี 10-1บี ลองเกอร์ปั๊ม ประเทศจีน) ขนาด 10 มิลลิลิตรจำนวน 2 หลอด สำหรับบรรจุน้ำปราศจากไอออนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวพา ส่วนอีกหลอดบรรจุสารละลายซี-ไฟโคไซบานินเข้มข้น 0.13 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มีวาล์ว 6 พอร์ต(โอกาวา ประเทศญี่ปุ่น) ที่มีลูปสำหรับกำหนดปริมาตรสารมาตรฐานหรือสารตัวอย่าง 10 ไมโครลิตร และมีแลบออนอะชิพที่สร้างขึ้น โดยตำแหน่งที่ตรวจวัดต่อกับใยแก้วนำแสงส่งความเข้มแสงไปยังตัววัดแสงยูเอสบี 2000 (โอเชียนออปติก ประเทศสหรัฐอเมริกา) และแสดงผลทางคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3



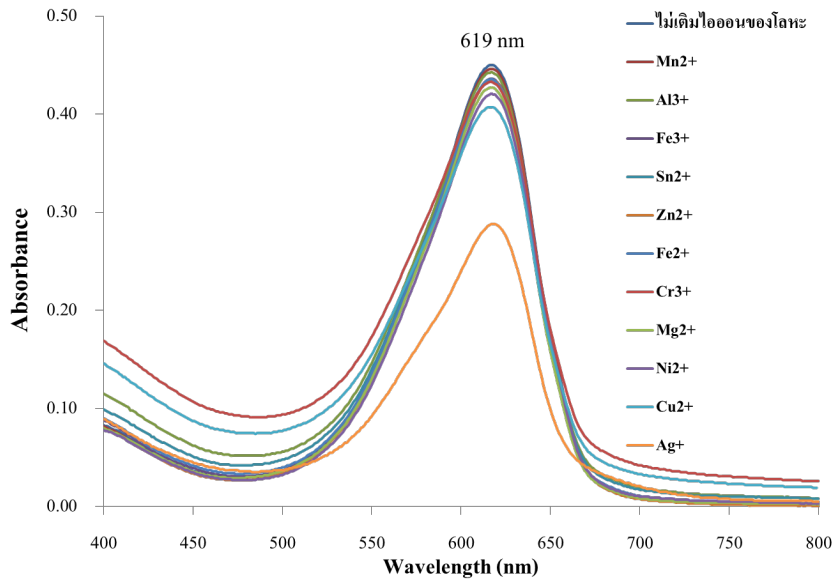
รูปที่ 3 ระบบไมโครโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสประกอบด้วย ก) ปั๊มหลอดฉีดยา ข) วาล์ว 6 ทาง ค) แลบออนอะชิพ ง) ที่ใส่ของเสีย จ) หลอดเปล่งแสงสีแดง ฉ) เครื่องวัดแสงยูเอสบี 2000 พร้อมใยแก้วนำแสง ช) คอมพิวเตอร์ และ ซ) ช่องทางที่สารไหลออก

ในการทำงานของระบบโดยการป้อนสารละลาย ซี-ไฟโคไซยานิน (ในหลอดฉีดยา 1) จะถูกป้อนเข้าสู่ระบบ พร้อมกับน้ำปราศจากไอออน (หลอดฉีดยาที่ 2)ซึ่งเป็นตัวพา ด้วยอัตราการไหลของปั๊มหลอดฉีดยา(ก) 0.1 มิลลิลิตรต่อนาที เมื่อฉีดสารมาตรฐานหรือสารตัวอย่างผ่านวาล์วหกพอร์ต(ข)ที่กำหนดปริมาตรลูป 10 ไมโครลิตร สารมาตรฐาน Ag^{+} ฉีดผ่านวาล์ว และถูกพาเข้าระบบแลบออนอะชิพเพื่อผสมกับซี-ไฟโคไซยานินที่ไหลมาเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารทั้งสอง ทำให้สีน้ำเงินของซี-ไฟโคไซยานินจางลง เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (ฉ)จะวัดสัญญาณซึ่งลดลงที่ 619 นาโนเมตร จึงได้พีกหัวกลับ บันทึกด้วยคอมพิวเตอร์(ช) ในการประมวลผลใช้โปรแกรม eDAQ ดังนั้นสัญญาณที่วัดได้จะเป็นพีกค่าติดลบ ในหน่วยมิลลิแอบซอบแบนซ์ (mA)

5. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล

5.1 การศึกษาการดูดกลืนแสงของซี-ไฟโคไซยานินที่ผสมไอออนของโลหะชนิดต่างๆ

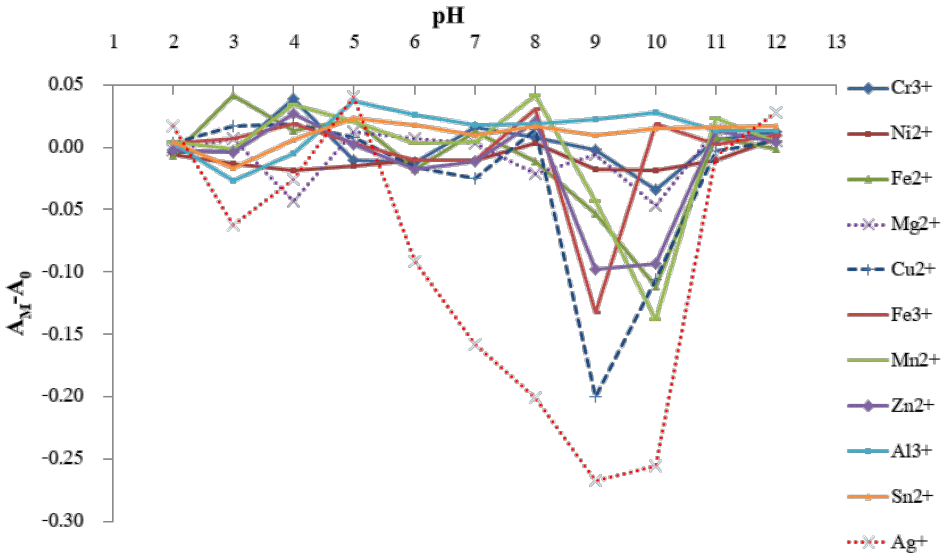
จากการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินที่ความเข้มข้น 60 มิลลิกรัมต่อลิตรในสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7 พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 619 นาโนเมตร ขณะที่เมื่อเติมไอออนโลหะ Mn^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Sn^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}, Cr^{3+}, Mg^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+} และ Ag^{+} แต่ละชนิดลงไป (มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร) พบว่า Ag^{+} ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินลดลงมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Han และคณะ ซึ่งพบว่าความเข้มของแสงฟลูออเรสเซนส์และการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินลดลงเมื่อเติม Ag^{+} เนื่องจากเกิดสร้างเชิงซ้อนระหว่าง Ag^{+} กับหมู่ฟังก์ชั่น –NH และ –C=O ของบิลิน (bilins) และกรดอะมิโนในซี-ไฟโคไซยานิน (Han et al. 2018) สเปกตราดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 สเปกตราการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานิน (60 มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อเติมไอออนโลหะชนิดต่างๆที่มีความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เปรียบเทียบกับที่ไม่เติมไอออนของโลหะ

อย่างไรก็ตามในการเกิดสารเชิงซ้อน พีเอชอาจมีผลต่อการทำปฏิกิริยา ดังนั้นเมื่อศึกษาผลของพีเอชตั้งแต่ 2-12 ของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินที่มีการเติมไอออนของโลหะเหล่านี้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 619

นาโนเมตร (A_M) และวัดการดูดกลืนแสงสารละลายซี-ไฟโคไซยานินพีเอช 2-12 เช่นกัน (A_0) เมื่อนำค่า A_M-A_0 ที่พีเอชต่างๆ มาสร้างกราฟ ให้ผลการทดลองดังรูปที่ 5



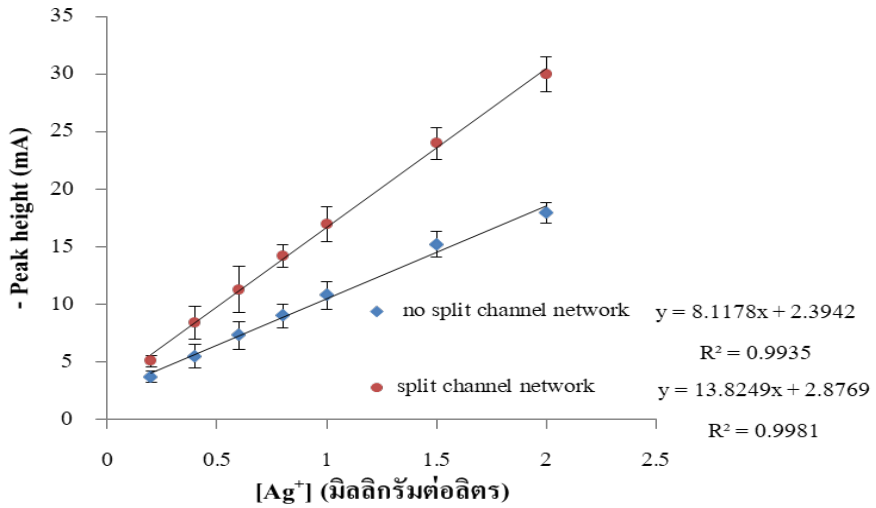
รูปที่ 5 ผลของพีเอชต่อการลดการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินที่ผสมกับไอออนของโลหะชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 5 พบว่า Ag^+ จะทำให้การดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไซโคไซยานินลดลงมากที่สุดที่พีเอช 9 ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ซี-ไฟโคไซยานินเป็นรีเอเจนต์ธรรมชาติสำหรับการวิเคราะห์ Ag^+ ได้ อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4 พบว่าไอออนชนิดอื่นๆเช่น Cu^{2+}, Fe^{3+}, Zn^{2+}, Fe^{2+}และ Mn^{2+} สามารถลดการดูดกลืนแสงของซี-ไฟโคไซยานินที่ 619 นาโนเมตรที่ พีเอช 9ได้เช่นกัน ดังนั้นถ้าเลือกใช้พีเอช 9 อาจทำให้เกิดการรบกวนการวิเคราะห์ของ Ag^+ ได้ ดังนั้นในการทดลองขั้นต่อไปจึงเลือกใช้สารละลายซี-ไฟโคไซยานินที่พีเอช 8 ในการหาปริมาณ Ag^+ ในระบบแลบออนอะชิพต่อไป

5.2 ผลการเปรียบเทียบรูปแบบของแลบออนอะชิพ

จากการใช้ระบบโฟลอินเจคชันอะนาลิซิสต่อกับแลบออนอะชิพ (ดังรูปที่ 3) ที่มีรูปแบบเครือข่ายช่องขนาดไมครอน 2 รูปแบบคือแบบที่ไม่มีการสปริท (รูปที่ 2 ก) และแบบที่มีสปริท 9 ตำแหน่ง (รูปที่ 2 ข) โดยใช้สารละลายซี-ไฟโคไซยานิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตรในอะซีเตตบัฟเฟอร์พีเอช 8 และฉีดสารละลายมาตรฐาน Ag^+ ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ 0.10-5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้สัญญาณเป็นพีก วัดความสูงของพีกในหน่วยมิลลิแอบซอบแบนซ์ (mA) จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ปรากฏพีกให้เห็น ขณะที่ความเข้มข้นมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรพีกสูงขึ้นแต่ไม่อยู่ในช่วงความเป็นเส้นตรง ดังนั้นได้กราฟเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น Ag^+ 0.20 - 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งแสดงว่าสัญญาณการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนแปลงมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นของ Ag^+ โดยรูปแบบไม่มีการสปริทจะให้สมการเส้นตรง $y = 8.1178x + 2.3942$ โดย y คือความสูงของพีกที่ได้จากเครื่องวัด ขณะที่ x คือความเข้มข้นของ Ag^+ และมีค่าอาร์สแควร์ 0.9935 แสดงว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดีมาก เช่นเดียวกับแลบออนอะชิพในรูปแบบสปริทให้ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดัง

สมการ y = 13.8249 x + 2.8769 และมีค่าอาร์สแควร์ 0.9981 อย่างไรก็ตามจะเห็นว่ารูปแบบที่มี สปริทจะให้ค่าความชันสูงกว่าแบบชิพที่ไม่มีการสปริท ทำให้สภาพไว (sensitivity) เพิ่มขึ้นประมาณ 170 % เนื่องจากรูปแบบรีแอกเตอร์แบบไม่มีการสปริท ปฏิกิริยาอาจเกิดไม่ดีพอเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างไอออนของโลหะกับสารละลายซี-ไฟโคไซยานินต้องใช้เวลานาน (Han et al. 2018) ทำให้สารละลายไหลออกจากระบบก่อนที่ทำปฏิกิริยาได้ดี ขณะที่การใช้รูปแบบเครือข่ายของช่องขนาดไมครอนมีตำแหน่งสปริทถึง 9 ตำแหน่งทำให้สารละลายทั้งสองเกิดการผสมกันและทำปฏิกิริยากันได้ดีขึ้น สีของสารละลายที่ลดลงจึงถูกตรวจวัดและให้สภาพไวสูงขึ้น



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบกราฟมาตรฐานจากการใช้แลบออนอะชิพสองระบบ คือแพลทฟอร์มมีรูปแบบเครือข่ายแบบที่มีสปริทและไม่มีสปริท

6. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการนำซี-ไฟโคไซยานินที่สกัดได้จากสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินมาใช้เป็นรีเอเจนต์ธรรมชาติในการหาปริมาณไอออนโลหะบางชนิด โดยพบว่า Ag^+ ให้การลดลงของการดูดกลืนแสงของสารละลายซี-ไฟโคไซยานินมากที่สุด เมื่อนำระบบไมโครโฟลอินเจคชั่นอะนาลิสิซมาใช้ในการตรวจวัด Ag^+ และตรวจวัดทางแสงในช่วงความยาวคลื่น 619 นาโนเมตร โดยใช้แลบออนอะชิพพบว่ารูปแบบเครือข่ายที่มีการสปริทจะทำให้การเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Ag^+ กับ ซี-ไฟโคไซยานินดีขึ้นในระบบ และเพิ่มสภาพไวในการวิเคราะห์มากกว่ารูปแบบที่ไม่มีการสปริทถึง 170% และให้ความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.20-2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง 0.9981

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ถ้าทำวิจัยขยายองค์ความรู้ต่อไปเพื่อให้สภาพไวดีขึ้นอาจสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ Ag^+ ในแหล่งน้ำธรรมชาติโดยพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติได้

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) การทำวิจัยต่อเพื่อพัฒนาเป็นระบบอัตโนมัติ และทำให้สภาพไวดีขึ้น การศึกษาในเรื่องจลน์ศาสตร์ของปฏิกิริยาเป็นต้น รวมทั้งการศึกษาสารรบกวนจากตัวอย่างจริง

8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณการสนับสนุนเครื่องมือวิจัยและสถานที่ทำวิจัย จากสาขาวิชาเคมี สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และศูนย์วิจัยขั้นสูง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ นอกจากนี้หนึ่งในคณะวิจัย ดวย เฮียน โงวเยน ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ประจำปีงบประมาณ 2559 ตามสัญญาทุนฉบับที่ ทน 56/2559

9. เอกสารอ้างอิง

Armenta, S., Garrigues, S. and de la Guardia, M. 2008. Green Analytical Chemistry. TrAC Trends in **Analytical Chemistry.** 27(6): 497-511.

Grudpan, K., Hartwell, S.K., Wongwilai, W., Grudpan, S. and Lapanantnoppakhun, S. 2011. Exploiting green analytical procedures for acidity and iron assays employing flow analysis with simple natural reagent extracts. **Talanta.** 84(5): 1396-1400.

Settheeworrarit, T., Hartwell, S.K., Lapanatnoppakhun, S., Jakmunee, J., Christian, G.D. and Grudpan, K. 2005. Exploiting guava leaf extract as an alternative natural reagent for flow injection determination of iron. **Talanta.** 68(2): 262-267.

Jaikrajang, N., Kruanetr, S., Harding, D.J. and Rattanakit, P. 2018. A simple flow injection spectrophotometric procedure for iron(III) determination using Phyllanthus emblica Linn. as a natural reagent. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy.** 204: 726-734.

Tontrong, S., Khonyoung, S. and Jakmunee, J. 2012. Flow injection spectrophotometry using natural reagent from Morinda citrifolia root for determination of aluminium in tea. **Food Chemistry.** 132(1): 624-629.

Supharoek, S.-a., Ponhong, K. and Grudpan, K. 2017. A green analytical method for benzoyl peroxide determination by a sequential injection spectrophotometry using natural reagent extracts from pumpkin. **Talanta.** 171: 236-241.

Terry, S.C., Jerman, J.H. and Angell, J.B. 1979. A Gas Chromatographic Air Analyzer Fabricated on a Silicon Wafer. **EEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES.** 26(12): 1880-1886.

Auroux, P.-A., Iossifidis, D., Reyes, D.R. and Manz, A. 2002. Micro Total Analysis Systems. 2. Analytical Standard Operations and Applications. **Analytical Chemistry.** 74(12): 2637-2652.

Youngvises, N., Thanurak, P., Chaida, T., Jukmunee, J. and AlSuhaimi, A. 2015. Double-sided Microfluidic Device for Speciation Analysis of Iron in Water Samples: Towards Greener Analytical Chemistry. **Analytical Sciences.** 31(5): 365-370.

Freitas, C.B., Moreira, R.C., de Oliveira Tavares, M.G. and Coltro, W.K.T. 2016. Monitoring of nitrite, nitrate, chloride and sulfate in environmental samples using electrophoresis microchips coupled with contactless conductivity detection. **Talanta.** 147: 335-341.

Lloyd, A., Russell, M., Blanes, L., Doble, P. and Roux, C. 2013. Lab-on-a-chip screening of methamphetamine and pseudoephedrine in samples from clandestine laboratories. **Forensic Science International.** 228(1): 8-14.

AlSuhaimi, A., Greenway, G.M., McCreedy, T. and Youngvises, N. 2009. PDMS Microfluidic Device with an Integrated Optical Sensor for Determination of Zinc (II) in Pharmaceuticals: Toward the Production of Miniaturized Green Chemistry Analytical System. **Spectroscopy Letters.** 42(6-7): 370-375.

Uludag, Y., Esen, E., Kokturk, G., Ozer, H., Muhammad, T., Olcer, Z., Basegmez, H.I.O., Simsek, S., Barut, S., Gok, M.Y., Akgun, M. and Altintas, Z. 2016. Lab-on-a-chip based biosensor for the real-time detection of aflatoxin. **Talanta.** 160: 381-388.

Bhuyan, M.S., Bakar, M.A., Akhtar, A., Hossain, M.B., Ali, M.M. and Islam, M.S. 2017. Heavy metal contamination in surface water and sediment of the Meghna River, Bangladesh. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management.** 8: 273-279.

Harris, A., Xanthos, S.J., Galiotos, J.K. and Douvris, C. 2018. Investigation of the metal content of sediments around the historically polluted Potomac River basin in Washington D.C., United States by inductively coupled plasma-optical emission spectroscopy (ICP-OES). **Microchemical Journal.** 142: 140-143.

Ma, H.-M., Huang, Y.-X. and Liang, S.-C. 1996. A new polymeric chromogenic reagent for the determination of copper(II). **Analytica Chimica Acta.** 334(1): 213-219.

Han, X., Lv, L., Yu, D., Wu, X. and Li, C. 2018. Coordination induced supramolecular assembly of fluorescent C-Phycocyanin for biologic discrimination of metal ions. **Materials Letters.** 215: 238-241.

Gelagutashvili, E. 2013. Binding of heavy metals with C-Phycocyanin: A comparison between equilibrium dialysis, fluorescence and absorption titration. **American Journal of Biomedical and Life Sciences.** 1(1): 12-16.

Al Lawati, H.A.J., Kadavilpparampu, A.M. and Suliman, F.O. 2014. Combination of capillary micellar liquid chromatography with on-chip microfluidic chemiluminescence detection for direct analysis of buspirone in human plasma. **Talanta.** 127: 230-238.

ผลของการทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลเมื่อเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่า ต่อกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟัน

Effect of double-time application of universal adhesives on dentine microshear bond strength

ธิติสรรค์ ฦๅชา

นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น thitisan_5i@hotmail.com

อาภาภรณ์ ภาษาสุข

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาทันตกรรมบูรณะ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

papapo@kku.ac.th

รัชฎา น้อยสมบัติ

อาจารย์ดอกเตอร์ ภาควิชาทันตกรรมชุมชน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

rajda_5@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟันเมื่อทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอล 2 ชนิดด้วยวิธีเซลฟ์เอทช์กับวิธีเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่า โดยแบ่งฟันกรามมนุษย์ซี่ที่สาม 8 ซี่ตามสารยึดติด 2 ชนิด ได้แก่ สารยึดติดออล บอนด์ ยูนิเวอร์ซอลและสารยึดติดจี-พรีมิโอ บอนด์ ตัดปุ่มฟันด้านบดเคี้ยวจนถึงเนื้อฟันแล้วทาสารยึดติดตามกลุ่มด้วยวิธีการทา 2 วิธีแล้วฉายแสง อุดวัสดุเรซินคอมโพสิตในท่อพลาสติกไทกอนแล้วยึดกับเนื้อฟัน นำเข้าเครื่องเทอร์โมไซคลิง 500 รอบแล้วแช่ในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง ทดสอบกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคด้วยแรง 50 นิวตัน ความเร็ว 1 มม./นาที ตรวจสอบการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ นำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วย one-way ANOVA และการทดสอบ Bonferroni (α = 0.05) ผลพบว่าวิธีเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่าทำให้ค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของสารยึดติดออล-บอนด์ ยูนิเวอร์ซอลสูงกว่าวิธีเซลฟ์เอทช์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่สารยึดติดจี-พรีมิโอบอนด์ไม่มีความแตกต่าง สรุปผลการศึกษาคือการเพิ่มเวลาทาสารยึดติดเป็น 2 เท่ามีผลต่อกำลังยึดเนื้อฟันเมื่อใช้สารยึดติดยูนิเวอร์ซอลที่มีความเป็นกรดระดับอ่อนมากและมี HEMA เป็นส่วนประกอบ ในขณะที่สารยึดติดยูนิเวอร์ซอลที่มีความเป็นกรดระดับปานกลางและไม่มี HEMA เป็นส่วนประกอบไม่มีความแตกต่าง

คำสำคัญ: สารยึดติดยูนิเวอร์ซอล กำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟัน วิธีการทา เพิ่มเวลาเป็น 2 เท่า

Abstract

The aim of this study was to compare the dentine microshear bond strength (μSBS) of two universal adhesives (UAs) applied in two different modes (self-etch; SE and double-time application; DT). Eight sound human third molars were randomly divided according to UAs used (All-bond Universal; ABU and G-Premio Bond; GPB) and two application modes. The occlusal cusps were removed to expose dentine and the adhesive for each group was applied in two modes and light cured. Tygon tubes were filled with resin composite and placed on dentine. The specimens were thermocycled for 500 cycles and stored for 24 hrs in distilled water at 37°C. μSBS test were perfomed with 50N loading unite and cross-head speed of 1 mm./min and the specimens were observed for fracture modes using stereo microscope. Data was analyzed using one-way ANOVA and Bonferrni's test ($\alpha = 0.05$). The result showed that DT mode of ABU was significantly higher than SE mode while GPB revealed no significant difference. Double-time application of ultra-mild and HEMA contained UAs improves dentine bond strength while moderate and HEMA-free UAs revealed no difference.

Keywords: Universal adhesives, dentine microshear bond strength, application mode, double-time application

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

สารยึดติดทางทันตกรรม (dental adhesives) ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เกิดการยึดติดระหว่างฟันและวัสดุบูรณะที่ดี รวมทั้งลดขั้นตอนและความยุ่งยากในการทำงานลง ซึ่งปัจจุบันสารยึดติดยูนิเวอร์ซอล (universal adhesives) ได้ถูกพัฒนาเป็นสารยึดติดรุ่นล่าสุดซึ่งผู้ผลิตอ้างว่าสามารถใช้ยึดติดเคลือบฟัน (enamel) เนื้อฟัน (dentine) กับวัสดุเรซินคอมโพสิต (resin composite)พอร์ซเลน (porcelain) เซอร์โคเนีย (zirconia) หรือโลหะ (metal) โดยสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลสามารถใช้ยึดติดกับฟันได้ทั้งวิธีการเซลฟ์เอทช์ (self-etch mode) วิธีการเอทช์แอนด์รินส์ (etch-and-rinse mode) หรือซีเลกทีฟเอทช์ (selective-etch) ตามวัตถุประสงค์การใช้งานและพื้นผิวของฟันที่จะทำการบูรณะซึ่งวิธีการเซลฟ์เอทช์นั้นเป็นการลดขั้นตอนและความยุ่งยากในการทำงานกับเนื้อฟัน (dentine) โดยอาศัยพื้นฐานการทำงานของสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์เดิม นั่นคือการทาที่พื้นผิวฟันเพื่อให้โมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรด (acidic monomer) ละลายแร่ธาตุและปรับสภาพชั้นสเมียร์ (smear layer) ก่อนที่ส่วนเรซินในสารยึดติดจะแทรกซึมเข้าไปในชั้นดังกล่าวเพื่อให้เกิดเป็นชั้นไฮบริด (hybrid layer) ที่พร้อมสำหรับการยึดติดกับวัสดุบูรณะ นอกจากนี้ยังมีการเติมฟังก์ชันนอลโมโนเมอร์ (functional monomer) เพื่อให้เกิดพันธะเคมีกับไฮดรอกซีอะพาไทต์ (hydroxyapatite) ในฟันได้ เช่น เท็นเอ็มดีพี (10-Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate; 10-MDP) โดยมีการศึกษาว่าสามารถให้กำลังยึด (bond strength) มีค่าใกล้เคียงกับสารยึดติดชนิดเอทช์แอนด์รินส์เมื่อยึดติดกับเนื้อฟัน [(1)]

การบูรณะด้วยวัสดุเรซินคอมโพสิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเนื้อฟันซึ่งมีปัจจัยที่ทำให้การยึดติดยุ่งยากและซับซ้อน ได้แก่ ท่อเนื้อฟัน (dentinal tubules) ความชื้นของเนื้อฟัน (dentine wetness) ปริมาณสารอินทรีย์หรือเส้นใยคอลลาเจน (collagen fibers) และชนิดของเนื้อฟัน[(2, 3)] ที่ผ่านมามีการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการยึดสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลวิธีการเซลฟ์เอทช์ โดยการเพิ่มเวลาในการทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลวิธีการเซลฟ์เอทช์เป็น 2

เท่า (double-time application) ซึ่งจะทำให้โมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดสามารถละลายแร่ธาตุและสารยึดติดสามารถแทรกซึมเกิดชั้นไฮบริดได้มากขึ้น โดยพบว่าสามารถเพิ่มกำลังยึดของเคลือบฟันได้เมื่อทดสอบด้วยวิธีกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาค [4] แต่การศึกษาเนื้อฟันนั้นมีเพียงการศึกษาโดยเพิ่มระยะเวลาในการทาสารยึดติดชนิดเซลฟ์เอทช์ทั้งแบบสองขั้นตอนและขั้นตอนเดียว ซึ่งพบว่ามีผลการศึกษาที่ขัดแย้งกัน [5-7] เนื่องจากสารยึดติดแต่ละชนิดมีส่วนประกอบและความเป็นกรดที่แตกต่างกัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาค (microshear bond strength) ของเนื้อฟันเมื่อทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอล 2 ชนิด โดยเปรียบเทียบผลของวิธีเซลฟ์เอทช์กับวิธีเซลฟ์เอทช์แบบเพิ่มเวลาเป็น 2 เท่า โดยมีสมมติฐานคือ 1) วิธีการทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลมีความสัมพันธ์กับกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟัน 2) ชนิดของสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลมีความสัมพันธ์กับกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟันเมื่อใช้วิธีการแบบทาเดียวกัน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

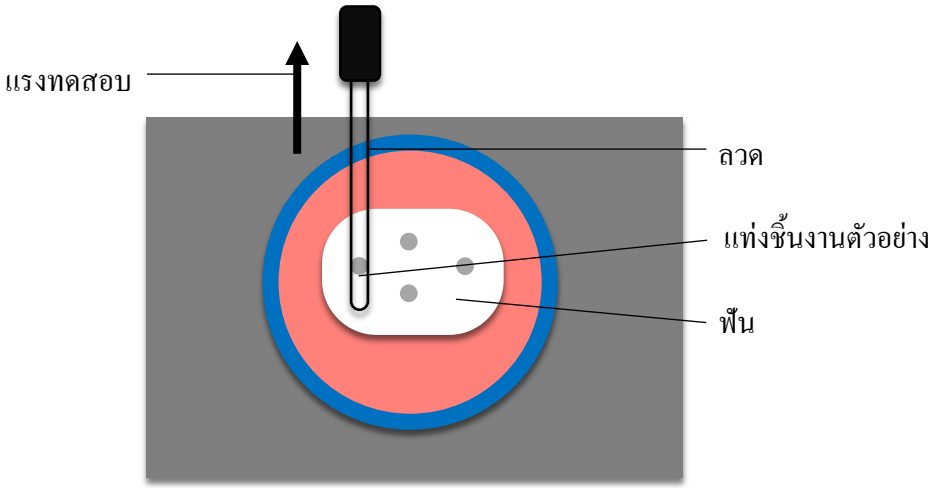
วิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการ (laboratory experimental research) โดยประชากรศึกษาคือ ฟันกรามแท้ซี่ที่สามจำนวน 8 ซี่ ซึ่งถูกถอนมาไม่เกิน 6 เดือน จากผู้ป่วยอายุ 18 ถึง 25 ปี โดยเก็บในสารละลายไธมอล (thymol solution) ความเข้มข้นร้อยละ 1.0 แล้วยึดฟันกับท่อพีวีซีขนาด 0.75 นิ้วให้ตัวฟันอยู่เหนือระดับขอบแล้วตัดฟันลงจนถึงชั้นเนื้อฟันด้วยเครื่องตัดไอโซเมต (ISOMET1000, Buehler, USA) ให้พื้นผิวด้านบดเคี้ยวเรียบและอยู่เหนือระดับท่อมิลลิเมตร 2 จากนั้นขัดเนื้อฟันด้วยกระดาษทรายน้ำเบอร์ 200 400 และ 600 ตามลำดับ เพื่อให้เกิดชั้นเสมียร์ขนาดเท่ากัน สุ่มแบ่งฟันออกเป็น 2 กลุ่มหลักตามชนิดของสารยึดติด ได้แก่ สารยึดติดออลบอนด์ ยูนิเวอร์ซอล (All-bond Universal) และสารยึดติดจี-พรีมิโอ บอนด์ (G-Premio Bond) แล้วสุ่มแบ่งเป็น 2 กลุ่มย่อยตามวิธีการทา ได้แก่ วิธีเซลฟ์เอทช์ (SE) และวิธีเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่า (DT) กำหนดแท่งชิ้นงานตัวอย่างกลุ่มละ 15 ชิ้น โดยขั้นตอนการทาสารยึดติดอธิบายในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารยึดติดที่ใช้ในการทดสอบและขั้นตอนการทา

สารยึดติด	ส่วนประกอบ	ขั้นตอนการทำงานจำแนกตามวิธีการ
All-Bond Universal; ABU (Bisco; USA) **pH = 3.2**	MDP, bis-GMA, HEMA, ethanol, water, initiators	**วิธีการเซลฟ์เอทช์ (SE)** - ทาสารยึดติดโดยถูให้ทั่วเนื้อฟัน 15 วินาที และเป่าลม 10 วินาที - ฉายแสง 10 วินาที **วิธีเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่า (DT)** - ทาสารยึดติดโดยถูให้ทั่วเนื้อฟัน 30 วินาที และเป่าลม 10 วินาที - ฉายแสง 10 วินาที
G-Premio Bond; GPB (GC: Japan) **pH = 1.5**	10-MDP, 4-MET, 10-MDTP, methacrylate acid ester, distilled water, acetone, photo initiators, silica fine powder	**วิธีการเซลฟ์เอทช์ (SE)** - ทาสารยึดติดโดยถูให้ทั่วเนื้อฟัน 10 วินาที และเป่าลมแรง 5 วินาที - ฉายแสง 10 วินาที **วิธีเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่า (DT)** - ทาสารยึดติดโดยถูให้ทั่วเนื้อฟัน 20 วินาที และเป่าลมแรง 5 วินาที - ฉายแสง 10 วินาที

ทำแท่งชิ้นงานตัวอย่างโดยการอุดวัสดุเรซินคอมโพสิตชนิดนาโนไฮบริด (Filtek Z350XT shade W, 3M ESPE, USA) ในท่อพลาสติกไทกอนด้วยการฉีด จากนั้นนำไปวางบนเนื้อฟันที่ฉายแสงแล้ว โดยวางห่างจากรอยต่อระหว่างเนื้อฟันและเคลือบฟัน (dento-enamel juntion) อย่างน้อย 2 มิลลิเมตร และไม่วางในตำแหน่งยอดโพรงประสาทฟัน (pulp horn) โดยฟัน 1 ซี่จะมีแท่งชิ้นตัวอย่าง 4 ถึง 5 แท่ง ใช้เครื่องมืออุดฟันกดให้วัสดุแนบสนิทกับเนื้อฟันแล้วฉายแสงเป็นเวลา 20 วินาที ด้วยเครื่องฉายแสงชนิดไดโอดเปล่งแสง (light-emitting diode, Demi Plus, Kerr, USA) แกะท่อพลาสติกไทกอนออกแล้วตรวจแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอที่กำลังขยาย 30 เท่า หากมีฟองอากาศหรือช่องว่าง (void) หรือแกนแท่งไม่ตั้งฉากกับเนื้อฟัน จะถูกคัดออกจากการทดสอบ นำชิ้นงานตัวอย่างเข้าเครื่องเทอร์โมไซคลิงที่อุณหภูมิ 5 และ 55 องศาเซลเซียส เวลาแช่ค้าง (dwell time) 30 วินาที จำนวน 500 รอบตามมาตรฐาน ISO TRI11405 ปี 1994 แล้วเก็บฟันไว้ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

ฟันแต่ละซี่จะถูกยึดกับฐานยึดโลหะโดยด้านบดเคี้ยวตั้งฉากกับพื้น คล้องแท่งเรซินคอมโพสิตด้วยลวดสเตนเลสที่เกี่ยวกับแนวนำโลหะซึ่งยึดกับเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine, Instron Model5566LV, Instron, UK) เริ่มทดสอบด้วยน้ำหนัก 50 นิวตันด้วยความเร็ว 1 มิลลิเมตร/นาที บันทึกแรงกระทำเพื่อคำนวณหาค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาค (MPa) โดยนำแรงที่ทำให้แท่งเรซินคอมโพสิตหลุดจากเนื้อฟันหารด้วยขนาดพื้นที่หน้าตัดของแท่งคอมโพสิต



ภาพที่ 1 แสดงการทดสอบกำลังยึดดึงระดับจุลภาค

นำข้อมูลค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Shapiro-Wilk ($\alpha = 0.05$) เพื่อยืนยันการแจกแจงของข้อมูลเป็นปกติ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่าเฉลี่ยกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคด้วย one-way ANOVA และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยการทดสอบ Bonferroni ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS (IBM SPSS Statistics 21.0, IBM, Chicago, IL, USA)

4. ผลการวิจัย

ค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคของเนื้อฟันเมื่อทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลด้วยวิธีการทา 2 วิธี แสดงในตารางที่ 2 โดยกลุ่มที่มีค่าเฉลี่ยกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคสูงที่สุด คือ กลุ่ม ABU เมื่อใช้วิธี DT ซึ่งสูงกว่ากลุ่ม ABU เมื่อใช้วิธี SE และกลุ่ม GPB เมื่อใช้ทั้งวิธี SE และวิธี DT ตามลำดับ อย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และกลุ่ม ABU เมื่อใช้วิธีการ SE กว่ามีค่าเฉลี่ยกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคสูงกว่ากลุ่ม GPB เมื่อใช้ทั้งวิธี SE และวิธี DT ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนกลุ่ม GPB เมื่อใช้วิธี SE พบว่า มีค่าเฉลี่ยกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคสูงกว่าวิธี DT แต่ไม่มีความแตกต่าง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 ค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาค (MPa)

สารยึดติด	ค่ากำลังยึดเฉือนระดับจุลภาค	
	เซลฟ์เอทช์	เพิ่มเวลาเป็น 2 เท่า
ออลบอนด์ ยูนิเวอร์ซอล	26.81 ± 1.38^{b}	30.51 ± 1.53^{a}
จี-พรีมิโอ บอนด์	24.25 ± 2.06^{c}	23.54 ± 1.92^{c}
*ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรยกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)		

5. อภิปรายผล

จากผลการทดสอบกำลังยึดเฉือนระดับจุลภาคเมื่อทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลโดยเพิ่มเวลาทา เป็น 2 เท่า พบว่า สารยึดติดต่างชนิดกันมีผลต่อกำลังยึดต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ถึงแม้สารยึดติด ABU และ GPB จะมีฟังก์ชันนอลโมโนเมอร์ 10-MDP ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายแร่ธาตุและสร้างพันธะเคมีที่มีความเสถียรกับเนื้อฟัน [8-10] และมีค่ากำลังยึดกับเนื้อฟันใกล้เคียงกับสารยึดติดชนิดเอทช์แอนด์รินส์ [1] แต่เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังยึดเมื่อใช้วิธี SE พบว่า สารยึดติด ABU มีค่าสูงกว่า GPB อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจอธิบายได้จากการที่ ABU มีการเติมโมโนเมอร์ชนิด HEMA (hydroxyethyl methacrylate) ที่มีความชอบน้ำจึงสามารถแทรกซึมผ่านชั้นสเมียร์ได้ดี ทำให้ชั้นไฮบริดมีความสมบูรณ์และมีค่ากำลังยึดสูงกว่าสารยึดติดที่ไม่ได้เติม HEMA [11-13] ในขณะที่ GPB ซึ่งไม่มี HEMA ใช้โมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดระดับปานกลาง (pH = 1.5) ซึ่งมากกว่า ABU ที่มีความเป็นกรดระดับอ่อนมาก (pH = 3.2) ซึ่งสารยึดติดที่มีความเป็นกรดมากกว่าควรละลายแร่ธาตุในเนื้อฟันได้ลึกกว่า แต่มีรายงานว่าสารยึดติดที่มีความเป็นกรดระดับสูง (pH < 1) ไม่ได้ทำให้ค่ากำลังยึดสูงขึ้น เพราะการละลายชั้นแร่ธาตุมากเกินไปทำให้ส่วนเรซินของสารยึดติดไม่สามารถแทรกซึมและเกิดเป็นชั้นไฮบริดได้สมบูรณ์ [14] จึงได้มีคำแนะนำให้เลือกใช้สารยึดติดที่มีความเป็นกรดระดับอ่อน (mild) ขึ้นไป เพื่อให้ชั้นไฮบริดมีความสมบูรณ์และเสถียรขึ้น [15] และถึงแม้ GPB จะมีความเป็นกรดระดับปานกลาง แต่การไม่มี HEMA นั้นอาจส่งผลให้สารยึดติดไม่สามารถแทรกซึมลงไปในชั้นสเมียร์ได้เพียงพอ และยังมีรายงานว่าสารยึดติดที่ไม่เติม HEMA อาจเกิดปัญหาการแยกชั้นของชั้นสารยึดติดหลังเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชันอีกด้วย [16]

เมื่อใช้สารยึดติดโดยเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่า พบว่า ABU มีค่ากำลังยึดเนื้อฟันสูงขึ้น อาจเป็นเพราะโมโนเมอร์ที่มีความเป็นกรดสามารถละลายแร่ธาตุมากขึ้น เรซินสามารถแทรกซึมและเกิดชั้นไฮบริดได้สมบูรณ์ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Toledano และคณะในปี 2007[7] เมื่อทาสารยึดติดเซลฟ์เอทช์โดยเพิ่มเวลาสามารถเพิ่มค่ากำลังยึดเนื้อฟันได้ ในขณะที่การศึกษาของ Erhardt และคณะในปี 2009[5] และการศึกษาของ Kimmes และคณะในปี 2010[6] พบว่ามีสารยึดติดบางชนิดเท่านั้นที่มีค่ากำลังยึดเนื้อฟันสูงขึ้น โดยส่วนประกอบของสารยึดติดและความเป็นกรดเป็นปัจจัยต่อค่ากำลังยึดเนื้อฟัน ส่วน GPB เมื่อทาโดยเพิ่มเวลาเป็น 2 เท่า พบว่าค่ากำลังยึดเนื้อฟันลดลง ซึ่งอาจอธิบายได้จากความเป็นกรดของสารยึดติดเมื่อเพิ่มเวลาทาแล้วอาจทำให้เกิดการละลายของแร่ธาตุมากกว่าเดิม และเรซินไม่สามารถแทรกซึมลงไปได้อย่างเพียงพอ เนื่องจากไม่มี HEMA เป็นส่วนประกอบ ทำให้ชั้นไฮบริดเกิดได้ไม่สมบูรณ์

6. สรุปผลการวิจัย

วิจัยนี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผลการวิจัยจึงไม่สามารถอ้างอิงผลลัพธ์ในทางคลินิกได้ จึงควรมีการศึกษาทางคลินิกเพื่อประเมินผลของการทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลโดยเพิ่มเวลาทาเป็น 2 เท่าในผู้ป่วยจริงต่อไป อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า การทาสารยึดติดยูนิเวอร์ซอลโดยเพิ่มเวลาเป็น 2 เท่าจากคำแนะนำของผู้ผลิตมีผลต่อสารยึดติดที่มีความเป็นกรดอ่อนมาก และมี HEMA เป็นส่วนประกอบ

7. เอกสารอ้างอิง

1. El-Damanhoury HM, Gaintantzopoulou M. Effect of Thermocycling, Degree of Conversion, and Cavity Configuration on the Bonding Effectiveness of All-in-One Adhesives. Oper Dent. 2015;40(5):480-91.
2. Eick JD, Cobb CM, Chappell RP, Spencer P, Robinson SJ. The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part I. Quintessence Int. 1991;22(12):967-77.
3. Eick JD, Gwinnett AJ, Pashley DH, Robinson SJ. Current concepts on adhesion to dentin. Crit Rev Oral Biol Med. 1997;8(3):306-35.
4. Cardenas AM, Siqueira F, Rocha J, Szesz AL, Anwar M, El-Askary F, et al. Influence of Conditioning Time of Universal Adhesives on Adhesive Properties and Enamel-Etching Pattern. Oper Dent. 2016;41(5):481-90.
5. Erhardt MC, Osorio R, Pisani-Proenca J, Aguilera FS, Osorio E, Breschi L, et al. Effect of double layering and prolonged application time on MTBS of water/ethanol-based self-etch adhesives to dentin. Oper Dent. 2009;34(5):571-7.
6. Kimmes NS, Barkmeier WW, Erickson RL, Latta MA. Adhesive bond strengths to enamel and dentin using recommended and extended treatment times. Oper Dent. 2010;35(1):112-9.
7. Toledano M, Proenca JP, Erhardt MC, Osorio E, Aguilera FS, Osorio R, et al. Increases in dentin-bond strength if doubling application time of an acetone-containing one-step adhesive. Oper Dent. 2007;32(2):133-7.
8. Giannini M, Makishi P, Ayres AP, Vermelho PM, Fronza BM, Nikaido T, et al. Self-etch adhesive systems: a literature review. Braz Dent J. 2015;26(1):3-10.
9. Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii Y, Ogawa T, et al. Self-assembled Nano-layering at the Adhesive interface. J Dent Res. 2012;91(4):376-81.
10. Yoshihara K, Yoshida Y, Hayakawa S, Nagaoka N, Kamenoue S, Okihara T, et al. Novel fluoro-carbon functional monomer for dental bonding. J Dent Res. 2014;93(2):189-94.
11. Nakabayashi N, Takarada K. Effect of HEMA on bonding to dentin. Dent Mater. 1992;8(2):125-30.
12. Nakaoki Y, Nikaido T, Pereira PN, Inokoshi S, Tagami J. Dimensional changes of demineralized dentin treated with HEMA primers. Dent Mater. 2000;16(6):441-6.
13. Van Landuyt KL, Snauwaert J, De Munck J, Peumans M, Yoshida Y, Poitevin A, et al. Systematic review of the chemical composition of contemporary dental adhesives. Biomaterials. 2007;28(26):3757-85.
14. Tay FR, Pashley DH. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. Dent Mater. 2001;17(4):296-308.
15. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. Dent Mater. 2011;27(1):17-28.
16. Alex G. Universal adhesives: the next evolution in adhesive dentistry? Compend Contin Educ Dent. 2015;36(1):15-26; quiz 8, 40.

พัฒนาเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำโดยใช้ตัวดูดซับจากวัสดุธรรมชาติ

Development Oil Skimmer Pump Using Adsorbent from Natural Materials

นลพรรณ ขันติกุลานนท์
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: Nonlapan.kh@gmail.com
จักรพงษ์ จิตต์จำนงค์
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: Alekjakkrapong@gmail.com
ณปภัช สมานวงศ์
อาจารย์ประจำ สาขาวิชาเทคโนโลยีปิโตรเลียม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
E-mail: Napaphat.sm@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันโดยใช้ดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส ตัวถูกดูดซับที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ น้ำมันพืชและน้ำมันเครื่อง โดยทำการทดลองแบบทีละเท ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่เหมาะสมของดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสสำหรับดูดซับน้ำมันพืชคือ 25 และ 15 นาที ตามลำดับ มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 20.41 และ 11.12 ตามลำดับ ส่วนเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่องของดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสคือ 20 และ 5 นาที ตามลำดับ มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับเท่ากับ 47.80 และ 18.19 ตามลำดับ ศึกษาปริมาณตัวกลางดูดซับที่เหมาะสมของดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสในการดูดซับน้ำมันพืชคือ 5 กรัม มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืชเท่ากับ 41.60 และ 29.46 ตามลำดับ ส่วนปริมาณตัวกลางในการดูดซับน้ำมันเครื่องที่เหมาะสมคือ 2 กรัม มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องเท่ากับ 53.90 และ 32.04 ตามลำดับ ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าดอกธูปฤาษีเป็นตัวกลางดูดซับที่ดีที่สุดที่สามารถนำไปใช้กับเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำในการศึกษานี้ การศึกษาความสามารถของเครื่องแยกน้ำมันโดยสังเกตลักษณะสีของน้ำออกที่ไหลผ่านเครื่องแยกน้ำมัน มีลักษณะสีใส เครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำที่มีตัวกลางดูดซับเป็นดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพสูงสุดที่สามารถพัฒนาใช้งานในอนาคตได้

คำสำคัญ: ดอกธูปฤาษี; เส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส; เครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ

ABSTRACT

The purpose of this research was conducted to compare the efficiency of oil adsorption by the *Typha angustifolia* Linn. and coconut coir fiber after being treated by base. The absorbents was used for experiment be composed of vegetable oil and engine oil. Batch experiments were performed to examine the appropriate time to absorb the oil. The results showed that the suitable time of *Typha angustifolia* Linn. and coconut coir fiber after being treated by base for vegetable oil adsorbtion were 25 and 15 minutes respectively, with 5 grams dose of adsorbent. The efficiency of oil absorption was 20.41% and 11.12%, respectively while the suitable time of Typha angustifolia and coconut coir fiber after being treated by base for engine oil adsorbtion were 20 and 5 minutes respectively, with 5 grams dose of adsorbent. The efficiency of oil absorption was 47.80% and 18.19%, respectively. Examined the appropriate adsorbent dosage of *Typha angustifolia* Linn. and coconut coir fiber after being treated by base were 5 grams for adsorb vegetable oil, the efficiency of oil absorption were 41.60% and 29.46%, respectively while the suitable dose for engine oil absorption were 2 grams. The efficiency of engine oil adsorption was 53.90% and 32.04%, respectively. The results was summarized the *Typha angustifolia* Linn. shown the best adsorbent that can be used for oil skimmer in this study. The capacity of oil skimmer was performed by observation the characteristics color of water out that through the oil skimmer. Water out looked clearly. The oil skimmer as *Typha angustifolia* Linn. adsorbent was displayed the highest efficiency can development for using in the future.

KEYWORDS: *Typha angustifolia* Linn.; coconut coir fiber after being treated by base; oil skimmer

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ปัญหาคราบน้ำมันและไขมันที่แขวนลอยในแหล่งน้ำ จะก่อให้เกิดผลกระทบทั้งต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งน้ำมันและไขมันที่มีโมเลกุลสูงไม่สามารถละลายน้ำได้ ผลกระทบที่เกิดจะทำให้เกิดแผ่นฟิล์มหรือฝ้าที่ผิวน้ำแขวนลอยอยู่บนผิวน้ำ ทำให้ความสวยงามของทัศนียภาพลดลงและขัดขวางการแลกเปลี่ยนออกซิเจนระหว่างอากาศลงสู่น้ำ นอกเหนือจากคราบน้ำมันและไขมันจะขัดขวางการส่องผ่านของแสงแดดแล้ว ยังทำให้พืชน้ำสังเคราะห์แสงได้น้อยลง ส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ได้จากการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและอาจก่อให้เกิดการเน่าเสีย เนื่องจากการเกิดการย่อยสลายแบบไร้อากาศ และปลดปล่อยก๊าซหลายชนิดที่ส่งผลกระทบต่อทั้งสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซมีเทน (CH_4) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2548)

ผลกระทบดังกล่าวข้างต้น จึงมีนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจำนวนมากพยายามหาวิธีในการบำบัดหรือกำจัดคราบน้ำมันและไขมันที่แขวนลอยในแหล่งน้ำ ซึ่งการบำบัดคราบน้ำมันและไขมันสามารถจำแนกวิธีกำจัดน้ำมันออกเป็น 3 ประเภท คือ วิธีการทางกายภาพ มีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่ การเติมอากาศ การทำให้ลอยตัวโดยธรรมชาติ และการใช้วัสดุดูดซับ เป็นต้น วิธีการทางเคมี เป็นวิธีการกำจัดน้ำมันและไขมันด้วยการเติมสารเคมีที่

ใช้สำหรับแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยการใช้สารเคมีที่มีส่วนประกอบของสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบ ทำให้น้ำมันแตกตัว โดยสารเคมีนี้จะทำให้ความแตกต่างของแรงตึงผิวระหว่างน้ำมันกับน้ำลดลง จนแรงตึงผิวของน้ำมันใกล้เคียงกับน้ำ ทำให้น้ำมันกระจายตัวและช่วยป้องกันการรวมตัวของน้ำมัน และวิธีการทางชีวภาพ เป็นวิธีการกำจัดน้ำมันที่อาศัยจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ รา แบคทีเรีย ช่วยในการย่อยสลายน้ำมัน ซึ่งเป็นการย่อยสลายโดยธรรมชาติ โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติช่วยในการย่อยสลายน้ำมันเป็นไปอย่างช้า ๆ และใช้เวลานาน อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพและปัญหาที่เกิดขึ้นโดยวิธีการทางเคมีและวิธีการทางชีวภาพคือ มีค่าใช้จ่ายในด้านแรงงานในการบำบัดสูง สภาพธรรมชาติที่กลับคืนมาเป็นไปได้ยาก เป็นต้น ดังนั้นการกำจัดน้ำมันโดยวิธีทางกายภาพที่อาศัยวิธีการดูดซับนั้นก็จัดเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องด้วยเป็นกระบวนการที่สามารถดำเนินการได้ง่าย ใช้หลักการขั้นพื้นฐาน ไม่ต้องอาศัยความรู้ความชำนาญที่สูงมากนักในการควบคุมระบบ (อรทัย วิเศษรัตน์, 2554) จึงเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำการศึกษาเพื่อกำจัดคราบน้ำมันและไขมันที่แขวนลอยอยู่บนน้ำต่อไป

ผู้จัดทำวิจัยเล็งเห็นว่าการใช้เทคนิคทางกายภาพ โดยการใช้พืชที่มีเส้นใยซึ่งหาได้ง่ายแทนการใช้วัสดุสังเคราะห์ที่มีราคาสูงในที่นี้คือ ดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าว มาเป็นวัสดุดูดซับจากธรรมชาติที่จะทำการศึกษา เนื่องจากมีลักษณะเป็นเส้นใยที่สามารถเป็นวัสดุธรรมชาติที่ดูดซับน้ำมันได้ สามารถลอยตัวบนน้ำได้สูง หาได้ง่ายในชุมชน กำจัดได้ง่ายและไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และยังเป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถจะนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ (ไมตรี จิรไมตรี, 2551) และเพื่อนำมาพัฒนาเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ (Oil Skimmer Pump) โดยใช้ตัวดูดซับจากวัสดุธรรมชาติที่จะใช้ทดแทนการใช้วัสดุดูดซับจากวัสดุสังเคราะห์ในอนาคตได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

(2) เพื่อหาวัสดุที่ใช้ทำตัวดูดซับน้ำมันจากวัสดุธรรมชาติที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

(3) เพื่อพัฒนาเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำที่ใช้วัสดุธรรมชาติเป็นตัวดูดซับน้ำมัน

3. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวคิดของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการทางกายภาพที่ใช้วัสดุดูดซับที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำมันและไขมัน โดยวัสดุที่นำมาใช้มาจากเส้นใยพืชซึ่งเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นโดยทั่วไป และวัสดุดูดซับที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ สามารถลอยตัวอยู่ได้บนน้ำ มีความหนาแน่นต่ำเพื่อทำให้ลอยตัวได้ และสามารถดูดซับน้ำมันและไขมันไว้ในตัวได้ดี สะดวกต่อการใช้งาน ขั้นตอนการใช้ไม่ยุ่งยากและไม่เป็นพิษหรือส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ธิดา วิเชียรเพชร, 2545) และวัสดุดูดซับจากธรรมชาติที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ กาบมะพร้าว ดอกธูปฤาษี ซึ่งดอกธูปฤาษี 100 กรัม สามารถซับเก็บน้ำมันได้มากกว่า 1 ลิตร (ดอกธูปฤาษี 1 ดอกมีน้ำหนักประมาณเกือบ 100 กรัม) และ

คุณสมบัติดอกธูปฤาษียังสามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำและซับออกจากผิวน้ำโดยไม่มีน้ำปนมาในระหว่างขั้นตอนจัดเก็บอีกด้วย (จิติ หนูแก้ว, 2556)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมตัวดูดซับจากดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าว

4.1.1 การเตรียมดอกธูปฤาษี นำดอกธูปฤาษีดอกสด เลือกที่มีช่อดอกสีน้ำตาลเข้ม นำมาแกะเพื่อเอาเกสรที่อยู่ภายใน รุ่งทิพย์ ลำดวล และคณะ (2553)

4.1.2 การเตรียมเส้นใยกาบมะพร้าว นำเส้นใยกาบมะพร้าวมาปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 โมลาร์ เพื่อทำให้เส้นใยมีรูพรุนมากขึ้น (อรทัย วิเศษรันต์ และคณะ, 2554)

4.2 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันของ ดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าว

โดยชั่งน้ำหนักดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสจำนวน 5 กรัม นำน้ำมันพืชนำน้ำมันเครื่องปริมาณ 50 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 นาที 5 นาที 10 นาที 15 นาที 20 นาที 25 นาที และ 30 นาที ตามลำดับ จะได้น้ำมันที่ถูกดูดซับ ไปหาค่าร้อยละประสิทธิภาพของการดูดซับน้ำมันบนตัวดูดซับแต่ละชนิด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและประสิทธิภาพการดูดซับ

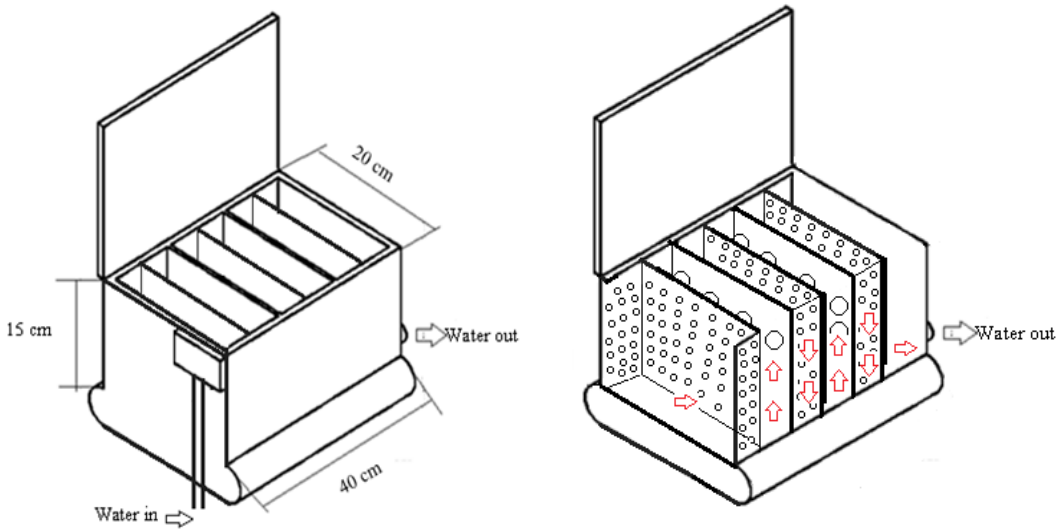
4.3 การศึกษาปริมาณตัวกลางในการดูดซับน้ำมันที่เหมาะสม

โดยชั่งน้ำหนักดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส จำนวน 1 กรัม 2 กรัม 3 กรัม 4 กรัม 5 กรัม และ 6 กรัม นำน้ำมันพืชและน้ำมันเครื่องปริมาณ 10 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 220 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น จะได้น้ำมันที่ถูกดูดซับไปหาค่าร้อยละของการดูดซับน้ำมันบนตัวดูดซับแต่ละชนิด จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตัวกลางในการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

4.4 การทดสอบความสามารถของเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยใช้ตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดจากผลการทดลองข้างต้น

ขนาดของเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ = กว้าง (W) x ยาว (L) x สูง (H)

= 0.20 เมตร x 0.40 เมตร x 0.15 เมตร



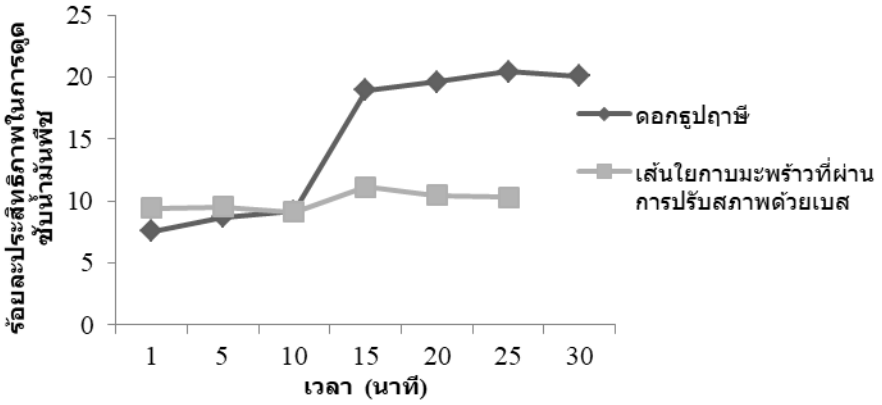
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันพืช จากตารางที่ 1 พบว่าที่เวลา 10 นาที ดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืชได้ใกล้เคียงกันมากที่สุด ที่เวลา 25 นาที มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุดของดอกธูปฤาษี ดังนั้นที่เวลา 25 นาที จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันพืชด้วยธูปฤาษี และที่เวลา 15 เป็นเวลาที่มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุดของเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส ดังนั้นที่เวลา 15 นาที จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันพืชด้วยเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันพืชด้วยตัวกลาง ดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

ตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับ	ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืช						
	1 นาที	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	25 นาที	30 นาที
ดอกธูปฤาษี	7.54	8.71	9.17	18.95	19.60	20.41	20.04
เส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส	9.42	9.51	9.10	11.12	10.46	10.29	-

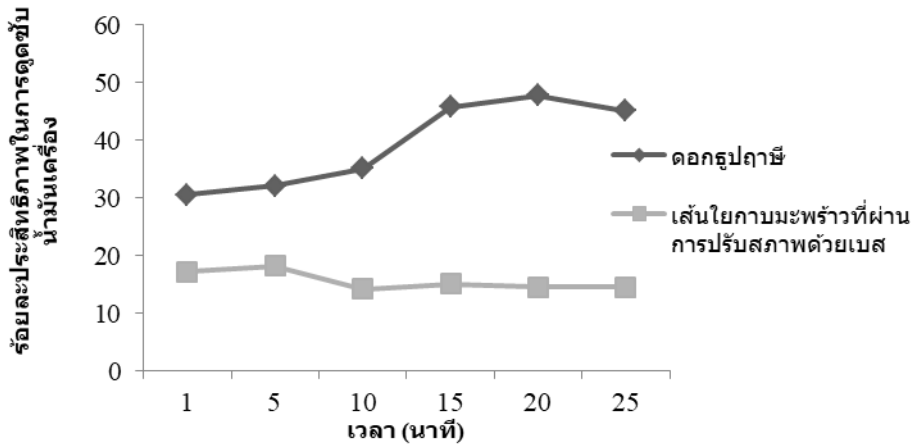


รูปที่ 2 แสดงร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืช

5.2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่อง จากตารางที่ 2 พบว่าที่เวลา 1-20 นาที ดอกธูปฤาษีจะมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องได้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ที่เวลา 20 นาที ดอกธูปฤาษีมีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องดีที่สุด ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่องของดอกธูปฤาษี คือที่เวลา 20 นาที สำหรับเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องดีที่สุดในเวลา 5 นาที และประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องลดลงที่เวลา 10 นาที และค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องจะมีค่าคงที่จนถึงที่เวลา 25 นาที ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่องของเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส คือที่เวลา 5 นาที ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่องน้ำมันเครื่องด้วยตัวกลาง ดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

ตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับ	ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่อง					
	1 นาที	5 นาที	10 นาที	15 นาที	20 นาที	25 นาที
ดอกธูปฤาษี	30.52	32.11	35.10	45.75	47.80	45.10
เส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส	17.15	18.19	14.22	15.09	14.54	14.51

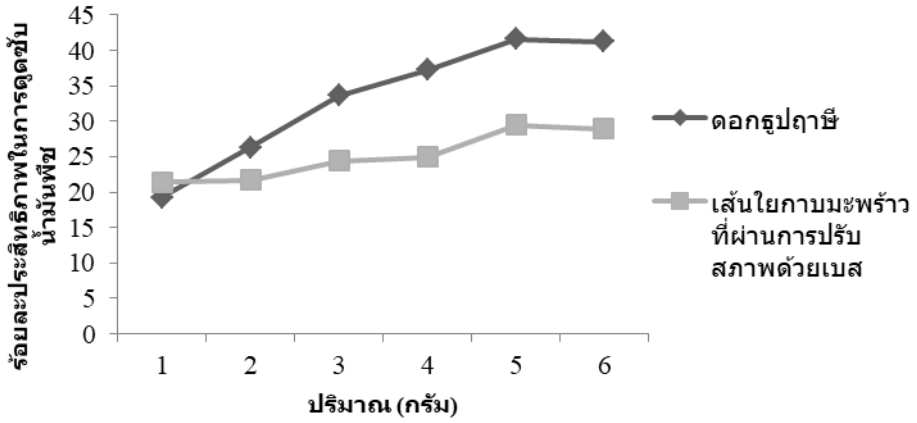


รูปที่ 3 แสดงร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่อง

5.3 ศึกษาปริมาณตัวกลางในการดูดซับน้ำมันพืช ดอกธูปฤาษีเป็นตัวกลางในการดูดซับปริมาณ 1 2 3 4 5 และ 6 กรัม มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืชเท่ากับ 19.21 26.29 33.63 37.22 41.60 และ 41.25 ตามลำดับ ส่วนตัวกลางในการดูดซับที่เป็นเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสปริมาณ 1 2 3 4 5 และ 6 กรัม มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืชเท่ากับ 21.38 21.70 24.42 24.97 29.46 และ 28.93 ตามลำดับ พบว่าดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสมีค่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืชมีแนวโน้มดีขึ้นเรื่อย ๆ โดยดอกธูปฤาษีปริมาณ 5 กรัม มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุด ที่เวลา 25 นาที และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสปริมาณ 5 กรัมมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับดีที่สุดที่เวลา 15 นาที ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 4

ตารางที่ 3 ศึกษาปริมาณตัวกลางที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันพืชด้วยตัวกลางดอกธูปฤาษี และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

ตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับ	ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับ					
	1 กรัม	2 กรัม	3 กรัม	4 กรัม	5 กรัม	6 กรัม
ดอกธูปฤาษี	19.21	26.29	33.63	37.22	41.60	41.25
เส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส	21.38	21.70	24.42	24.97	29.46	28.93

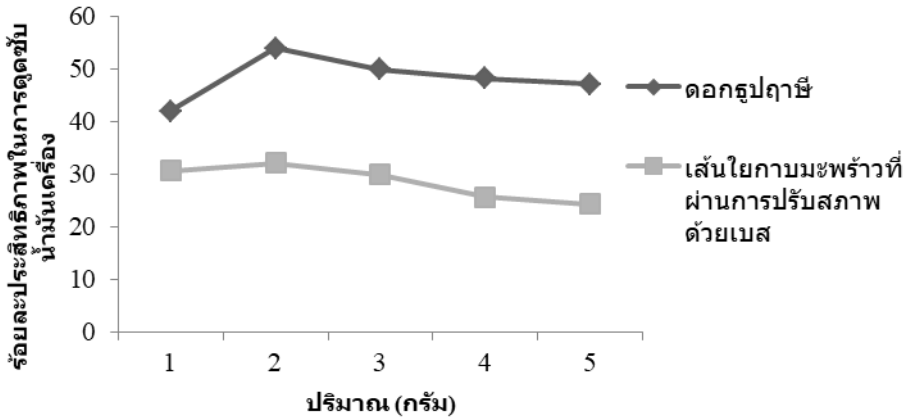


รูปที่ 4 ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันพืช

5.4 ศึกษาปริมาณตัวกลางที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่อง ใช้ดอกธูปฤาษีเป็นตัวกลางในการดูดซับปริมาณ 1 2 3 4 5 และ 6 กรัม มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องเท่ากับ 41.94 53.90 49.83 48.12 และ 47.03 ตามลำดับ ส่วนตัวกลางในการดูดซับที่เป็นเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส 1 2 3 4 และ 5 กรัม เป็นตัวกลางในการดูดซับ มีค่าร้อยล่ะประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่องเท่ากับ 30.52 32.04 29.79 25.58 24.27 และ 24.43 ตามลำดับ พบว่าดอกธูปฤาษีปริมาณ 2 กรัม ที่เวลา 20 นาที มีค่าร้อยล่ะประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุด และเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบสปริมาณ 2 กรัม ที่เวลา 5 นาที มีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับที่ดีที่สุด ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 5

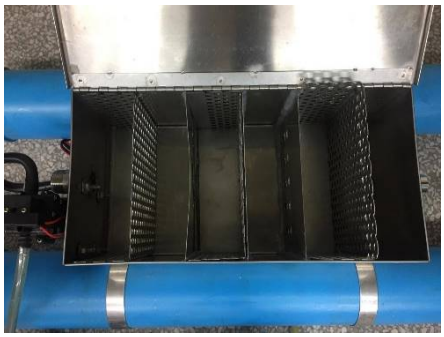
ตารางที่ 4 ศึกษาปริมาณตัวกลางที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันเครื่องด้วยตัวกลาง ดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส

ตัวกลางที่ใช้ในการดูดซับ	ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับ					
	1 กรัม	2 กรัม	3 กรัม	4 กรัม	5 กรัม	6 กรัม
ดอกธูปฤาษี	30.52	32.04	29.79	25.58	24.27	24.43
เส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส	41.94	53.90	49.83	48.12	47.03	-



รูปที่ 5 ร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเครื่อง

5.5 ศึกษาความสามารถของเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าดอกธูปฤาษีเป็นตัวกลางที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับน้ำมันของเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ เพราะมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส ทำการศึกษาโดยการสังเกตลักษณะของสีของน้ำตัวอย่างที่เปลี่ยนแปลงไปหลักจากผ่านการดูดซับน้ำมันด้วยเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำโดยปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้เป็นตัวถูกดูดซับ 150 กรัม เวลาที่ทำการทดลอง 5 นาที ดังรูปที่ 8 พบว่าน้ำหลังจากการดูดซับด้วยเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำมีสีขุ่น เนื่องจากสีของดอกธูปฤาษีที่ปนมากับน้ำออก และทำการดูดซับน้ำมันเครื่องปริมาณ 150 กรัม เวลาที่ทำการทดลอง 5 นาที รูปที่ 10 พบว่าน้ำหลังจากการดูดซับด้วยเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำมีสีขุ่นเล็กน้อย เนื่องจากสีของดอกธูปฤาษีที่ปนมากับน้ำออกมาเช่นกัน



รูปที่ 6 เครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ

รูปที่ 7 น้ำมันพืชขณะถูกดูดจากน้ำ

รูปที่ 8 น้ำที่ได้จากการดูดซับของน้ำมันพืช

รูปที่ 9 น้ำมันเครื่องขณะถูกดูดจากน้ำ

รูปที่ 10 น้ำที่ได้จากการดูดซับของน้ำมันเครื่อง

6. อภิปรายผล

การศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษีและเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส พบว่าดอกธูปฤาษีเหมาะสมเป็นตัวกลางในการดูดซับเพื่อพัฒนาเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ เพราะดอกธูปฤาษีมีคุณสมบัติเป็นนาโน และพบว่าดอกธูปฤาษีสามารถกำจัดคราบน้ำมันได้ดีเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยคราบน้ำมันจะจับกันเป็นก้อนสีดำและลอยอยู่เหนือน้ำ (จิติ หนูแก้ว, 2556) และมีค่าร้อยละประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันได้ดีกว่าเส้นใยกาบมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส และพบว่าเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันพืช และน้ำมันเครื่องออกจากน้ำได้ โดยสังเกตได้จากลักษณะสีของน้ำออกที่ไหลผ่านเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำ สีน้ำออกจากน้ำมันเครื่องจะสีใสมากกว่าสีน้ำออกของน้ำมันพืช เพราะน้ำมันเครื่องมีลักษณะทางกายภาพที่หนืดและเข้มข้นกว่าน้ำมันพืชทำให้ดอกธูปฤาษีดูดซับน้ำมันเครื่องได้ดีกว่าน้ำมันพืช ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำมีความสามารถที่แยกน้ำมันออก

จากน้ำได้จริง จึงเหมาะสมที่จะใช้ดอกธูปฤาษีเป็นตัวกลางในการดูดซับซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติเพื่อนำไปพัฒนาเครื่องแยกน้ำมันออกจากน้ำที่สามารถใช้งานจริงในอนาคตได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ควรเคลือบทุ่นลอยน้ำ และทุ่นดูดน้ำด้วยสีกันน้ำมันเพื่อไม่ให้มีคราบน้ำมันไปเกาะที่ผิวของทุ่นลอยน้ำ

(2) ควรออกแบบช่องใส่ตัวกลางในการดูดซับให้มีหูจับเพื่อสะดวกในการเปลี่ยนและควรออกแบบให้มีฝาปิดตะแกรงเพื่อไม่ให้น้ำพยุงดอกธูปฤาษีลอยขึ้นมา

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ควรใช้กับน้ำตัวอย่างจริงจากสถานที่จริงมาทดลอง

(2) ควรมีการทดสอบค่าน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำตัวอย่างที่นำมาทดลอง

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิจัยตลอดมา และขอขอบพระคุณงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2561 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่มอบทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

9. เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2545). **ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

จิติ หนูแก้ว. (2556). **วัชพืชไทยมีคุณสมบัตินาโน**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธิดา วิเชียรเพชร. 2545. **ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันในน้ำเสียชุมชนโดยใช้ดอกธูปฤาษี**.วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไมตรี จิรไมตรี. 2551. **การพัฒนาถังดักไขมันโดยการดูดซับด้วยกาบมะพร้าว**. วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาอุตสาหกรรมศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

อรทัย วิเศษรัตน์. 2554. **การดูดซับน้ำมันโดยใช้ชานอ้อยและชานอ้อยปรับสภาพ**. วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

แผนการผลิตพืชที่เหมาะสมสู่การเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

OPTIMAL CROP PRODUCTION PLAN TOWARD ENVIRONMENTAL-FRIENDLY AGRICULTURE IN MAE FAEK MAI SUB-DISTRICT, SAN SAI DISTRICT, CHIANG MAI PROVINCE

ประกายดาว สาระแปง
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์เกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: yyuiiky@gmail.com
เบญจพรรณ เอกะสิงห์
ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: benchaphun@gmail.com
จิรวรรณ กิจชัยเจริญ
ภาควิชาพัฒนาเศรษฐกิจการเกษตร สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
E-mail: jirawan.k@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การผลิตทางการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเป็นเรื่องใหม่สำหรับเกษตรกรในประเทศไทยเนื่องจากเกษตรกรมักต้องคำนึงถึงผลกำไรในการประกอบการเป็นหลัก ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมตามแนวทางการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยมีการศึกษาในตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ มีการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองหลายเป้าหมายแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted goal programing) ประกอบด้วย 3 เป้าหมาย คือ 1) กำไรสูงสุด 2) ลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ต่ำที่สุด และ 3) ลดอัตราการใช้สารเคมีให้ต่ำที่สุด และมีการให้ค่าน้ำหนักเป้าหมายของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเกษตรกรและกลุ่มเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับทางการเกษตร ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มเกษตรกรให้ค่าน้ำหนักของแต่ละเป้าหมายเท่ากับ 0.550 0.210 และ0.240 ตามลำดับ ส่วนแผนการผลิตที่เหมาะสมแบบจำลองแนะนำให้เกษตรกรเริ่มปลูกพืชแบบปลอดภัยและแบบอินทรีย์มากขึ้น จากพื้นที่เพาะปลูกรวมของตำบล 2,880 ไร่ ในรอบปีการผลิต 2559/60 โดยการปลูกพืชฤดูแล้งซึ่งแบบจำลองได้แนะนำให้ปลูกมันฝรั่งกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ร้อยละ 66.44 ซึ่งเป็นพื้นที่แบบใช้สารเคมี และพื้นที่เพาะปลูกที่เหลือได้แนะนำให้การปลูกพืชแบบปลอดภัยบางส่วน เช่น ปลูกมันฝรั่งกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบบปลอดภัย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์รุ่นที่ 1 กับ รุ่นที่ 2 แบบปลอดภัย แตงกวากับถั่วฝักยาวแบบปลอดภัย ร้อยละ 19.28 นอกจากนั้นยังแนะนำให้มีการปลูกแบบอินทรีย์ เช่น มันฝรั่งกับ

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์แบบอินทรีย์ แตงกวากับถั่วฝักยาวแบบอินทรีย์ ร้อยละ 14.28 ส่วนการวิเคราะห์โดยใช้น้ำหนักค่าเป้าหมายของกลุ่มเจ้าหน้าที่ ก็มีแผนการผลิตที่เหมาะสมไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากค่าน้ำหนักของเป้าหมายที่ใกล้เคียงกัน

สำหรับการวิเคราะห์สถานการณ์ในอนาคต โดยจำลองสถานการณ์ 4 กรณี คือ 1) กรณีการเปลี่ยนค่าน้ำหนักความสำคัญของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทางการเกษตร โดยให้คำนึงถึงสิ่งแวดล้อมมากขึ้น 2) กรณีการใช้พื้นที่ปลูกพืชแบบอินทรีย์เพียงชนิดเดียว 3) กรณีการใช้พื้นที่ปลูกพืชแบบปลอดภัยเพียงชนิดเดียว และ 4) กรณีการใช้พื้นที่ปลูกพืชแบบปลอดภัยผนวกกับการปลูกพืชแบบอินทรีย์ พบว่า เป้าหมายกำไรมีค่าน้อยลงจาก 132.10 ล้านบาท เป็น 128.86 ล้านบาท 120.67 ล้านบาท 127.51 ล้านบาท และ117.82 ล้านบาท การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เดิมจาก 0.69 ล้าน kg Co_2 เกิดค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 0.81 ล้าน kg Co_2 0.14 ล้าน kg Co_2 0.55 ล้าน kg Co_2 และ0.33 ล้าน kg Co_2 เช่นเดียวกับการอัตราการใช้สารเคมีทางการเกษตรจากเดิม 8.45 ล้านบาท เกิดค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 9.75 ล้านบาท 0 ล้านบาท (เป็นการปลูกพืชแบบอินทรีย์จึงไม่มีการใช้สารเคมีมาเกี่ยวข้อง) 8.22 ล้านบาท และ5.01 ล้านบาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: แผนการผลิตพืช, แบบจำลองหลายเป้าหมาย, วิเคราะห์สถานการณ์ในอนาคต, การลดคาร์บอนในการเกษตร

ABSTRACT

Agricultural production which is also environmental friendly is a new concept for farmers in Thailand because farmers normally are concerned about their operation profits. Therefore, this study had as one of its objectives to ascertain environmental friendly optimal crop production plan for farmers using cases in Mae Faek Mai Subdistrict, San Sai district, Chiang Mai Province. Weighted goal programming was used with three goals namely 1) maximize profit 2) minimize carbondized oxide 3) minimize chemical use. Two groups of stakeholders were asked to weigh the three goals i.e. farmers and district level officials. Farmers' weights of the three goals were 0.55, 0.210 and 0.24 respectively. The weighted linear programming model recommended farmers to grow more organic and pesticide-safe crops. From a total 2,880 rai ,production year 2559/60 By planting dry season crops of cropping areas in the district, the model recommended growing of conventional potato-corn areas 66.44 per cent, pesticide-safe crops such as potato-corn, corn-corn and cucumber-yard long bean areas 19.28 per cent and of organic crops such as potato-corn, potato-cauliflower, cucumber-yard long bean areas 14.28 per cent. The analysis using local officials' weights yield not so different patterns of optimal cropping as their weights of the three goals were not much different from farmers' weights.

Scenario analysis was done for 4 cases, namely 1) changing weights of goals to take more account of the environment 2) growing only organic farming 3) growing only pesticide-safe farming and 4) growing both organic and pesticide-safe farming. It was found that profits were reduced from originally 132.1 m. baht to 128.86 m. baht, 120.67 m. baht, 127.51 m. baht and 117.82 m. baht, carbon dioxide levels from originally 0.69

m kg. Co_2 to 0.81 m. kg. Co_2 , 0.14 m. kg. Co_2 , 0.55 m. kg. Co_2 and 0.33 m. kg. Co_2 , pesticide levels from originally 8.45 m. baht to 9.75 m. baht, 0 m. baht (organic farming, no chemicals involved) 8.22 m. baht and 5.01 m. baht respectively.

Keywords: Crop production plans, multiple-goal programming, scenario analysis, carbon reduction in agriculture

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

แม้ว่าความสนใจในประเด็นสิ่งแวดล้อมในการเกษตรจะมีสูงขึ้นอย่างมากในระดับนานาประเทศ เนื่องจากความเป็นกังวลต่อผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน ที่จะส่งผลเสียต่อมวลมนุษยชาติอย่างมหาศาล แต่ในประเทศไทย การผลิตทางการเกษตรที่คำนึงต่อสิ่งแวดล้อมน้อยยังมีน้อยอยู่เนื่องจากเกษตรกรมักเป็นกังวลต่อเรื่องผลประกอบการ และการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต้องการการจัดการด้านการผลิตและการตลาดที่สูงขึ้น

ในจังหวัดเชียงใหม่ก็จัดเป็นพื้นที่ที่มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจเป็นอันดับ 3 ของภาคเหนือ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) เพราะเป็นพื้นที่ดอนและราบ อีกทั้งสภาพอากาศที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกพืช ผักต่างๆ ที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร จากข้อมูลของสำนักงานเกษตรอำเภอสันทราย ปี 2556 พบว่า ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย นับว่าเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งเพราะนอกจากสภาพพื้นที่เป็นที่พื้นราบและที่ดอนกว้างเหมาะแก่การปลูกพืชไร่ พืชสวน แล้วยังมีแหล่งทรัพยากรน้ำและดินที่สมบูรณ์ มีศักยภาพในการปลูกพืชเศรษฐกิจได้หลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ มันฝรั่ง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และพืชอื่นๆ โดยเกษตรกรในตำบลแม่แฝกใหม่มีการปลูกพืชแบบหมุนเวียนตามฤดูกาลหรือสภาพอากาศที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทางเศรษฐกิจและสังคม อย่างไรก็ตาม การผลิตพืชต่างๆ ยังเป็นการผลิตที่ใช้สารเคมี เป็นอันตรายต่อเกษตรกรและสิ่งแวดล้อมอยู่เป็นส่วนใหญ่ การผลิตพืชผักปลอดภัย และ พืชผักอินทรีย์นั้น และอยู่ในระยะการพัฒนา

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ศึกษาเพื่อช่วยในการจัดการแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมทั้งในแง่ของเกษตรกร และในแง่ของสิ่งแวดล้อม โดยนำเอาเครื่องมือทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์แผนการผลิตหรือเส้นความเป็นได้ในการผลิต โดยใช้ ลิเนียร์โปรแกรมมิ่ง (linear programming) (Dantzig, 1974) โดยการศึกษาในครั้งนี้อาจใช้เพื่อเป็นแนวทางการตัดสินใจสำหรับการเพาะปลูกพืชของเกษตรกรภายใต้การกำหนดเป้าหมายของชุมชนอย่างมีส่วนร่วมและเป็นไปตามแนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว

2. วัตถุประสงค์ของวิจัย

(1) เพื่อทราบปัญหาและการให้ความสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของเกษตรกรที่ปลูกพืชในตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

(2) เพื่อทราบถึงแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมตามแนวทางการเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์การผลิต (production economy theory) สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับการแก้ปัญหาพื้นฐานทางด้านการผลิต เพื่อช่วยในการตัดสินใจและให้บรรลุเป้าหมายในการวางแผนการผลิต คือ กำไรสูงสุดภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นต้องมีการวางแผนการผลิต การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน รวมถึงการตัดสินใจใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

จากแบบจำลองที่มีหลายวัตถุประสงค์เป็นการวิเคราะห์หาการตัดสินใจที่เหมาะสมภายใต้การมีวัตถุประสงค์ที่หลากหลาย และเป็นแนวทางที่พัฒนาขึ้นมาจากวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming) เป็นวิธีที่พิจารณาหรือให้ความสนใจต่อวัตถุประสงค์ที่มีอยู่หลายวัตถุประสงค์และอาจมีความขัดแย้งกันอยู่ วิธีการนี้จะเปิดให้โอกาสให้ผู้วิจัยได้สามารถกำหนดเป้าหมายในวัตถุประสงค์ต่างๆของตนเองขึ้นมาได้ โดยจะมุ่งเน้นให้ค่าความเบี่ยงเบนจากเป้าหมายมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งมีได้ทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ อย่างไรก็ตาม ภายใต้ในรูปแบบจำลอง goal programming (GP) นั้น ได้มีการกำหนดค่าน้ำหนักกับทุกตัวแปรมีความเท่าเทียมกัน มักจะเผชิญกับสถานการณ์ที่ตัวแปรตัดสินใจแต่ละตัวมีความสำคัญไม่เท่าเทียมกัน จึงต้องทำการถ่วงน้ำหนักตัวแปรการตัดสินใจใหม่หรือเรียกว่า weighted goal programing (WGP) แล้วให้วัตถุประสงค์ของแบบจำลองเป็นการทำให้ส่วนเบี่ยงเบนออกจากค่าเป้าหมายต่ำสุด ส่วนการหาค่าน้ำหนักของเป้าหมายสามารถใช้การกระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น analytical hierarchical process (AHP) ซึ่งเป็นวิธีเปรียบเทียบคู่ทางเลือกทีละคู่ เพื่อหาค่าน้ำหนักของทางเลือกในการแก้ปัญหาเพื่อให้เกิดการเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด (best alternative) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Saaty ในปี ค.ศ.1980 โดยการวิเคราะห์นี้สามารถเปิดโอกาสให้ผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียกับปัญหานั้นได้เข้ามาร่วมทำการตัดสินใจหรือประชุมร่วมกันเพื่อแยกแยะองค์ประกอบและการให้น้ำหนัก รวมถึงการเปรียบเทียบทางเลือกต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ Saaty (1980)

4. การตรวจเอกสาร

ปรีชา เปียมพงศ์สานต์และชัยณรงค์ เครือวน (2558) ได้ศึกษาเรื่องเศรษฐกิจสีเขียวในชุมชนท้องถิ่นไทย กรณีศึกษาชุมชนท้องถิ่นแห่งหนึ่งในภาคตะวันออก พบว่า จากความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จึงต้องเสริมสร้างศักยภาพทางเศรษฐกิจ เพื่อฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมภายในชุมชน

สำหรับการศึกษาเครื่องมือการวางแผนโดยใช้แบบจำลองลิเนียร์โปรแกรมมิ่งในการวิเคราะห์อย่างเหมาะสม โดยพลกฤช ตันติญานุกลู (2555) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบการวางแผนการผลิตทางการเกษตร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับเกษตรกรที่มีการผลิต

ส่วนการศึกษาแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองหลายวัตถุประสงค์ โดยวราภรณ์ ชัยวินิจ (2552) แผนการผลิตพืชบนพื้นที่สูงที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในระดับฟาร์ม ลุ่มแม่น้ำแม่ศึก อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า รายได้ที่เหนือต้นทุนสูงสุด การใช้แรงงานที่น้อยที่สุด การใช้สารเคมีส่งผลน้อยที่สุดกับสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด

ส่วนงานวิจัยการประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เป็นลำดับชั้น (AHP) และโปรแกรมสำเร็จรูปร่วมตัดสินใจ (รตส.) มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาเช่น เมธี เอกะสิงห์ และคณะ (2550) ได้นำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกปลูกผักปลอดสารพิษของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนเบญจพรรณ เอกะสิงห์และคณะ (2550) มีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการร่วมตัดสินใจหาทางเลือกเพื่อรับมือกับความเสี่ยงทางเศรษฐกิจ ในจังหวัดเชียงใหม่

พะเยา และลำปาง พบว่า การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์หลายหลักเกณฑ์ร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูปร่วมตัดสินใจ ทำให้เกษตรกรมีการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆอย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยให้เกษตรกรสามารถตัดสินใจและเปรียบเทียบเกณฑ์ทางเลือกต่างๆ อย่างสะดวก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

จากแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมสู่การเกษตรที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อพัฒนาสู่เป้าหมายทางเศรษฐกิจสีเขียวได้กำหนดประชากรกลุ่มตัวอย่าง การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรในการศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ ตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วย 14 หมู่บ้าน ประกอบด้วย จำนวนครัวเรือนเท่ากับ 2,940 ครัวเรือน จำนวนประชากรทั้งหมด 7,673 ราย และจำนวนครัวเรือนเกษตรกร ประมาณ 1,124 ครัวเรือน (สำนักงานเกษตรอำเภอสันทราย, 2556) เพื่อศึกษาแนวทางการแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมสู่การเกษตรในระดับตำบล โดยต้องมีมูลค่าผลผลิตพืช เช่น มันฝรั่ง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และพืชอื่นๆ เป็นต้น

4.2 แบบจำลอง

แบบจำลองเชิงเส้นแบบหลายเป้าหมายแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted goal programming) เป็นแบบจำลองระดับตำบลที่ใช้ในการวางแผนการผลิตอย่างเหมาะสมในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ 3 ข้อ ได้แก่ กำไรสูงสุด การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำสุด สารเคมีต่ำสุด โดยมีการถ่วงน้ำหนักแต่ละเป้าหมายตามความเห็นของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ในพื้นที่ศึกษา ส่วนข้อจำกัดได้แก่ พื้นที่การเกษตร เงินลงทุน แรงงาน และพื้นที่จำกัดด้านการตลาดของสินค้าของพืชแบบปลอดภัยและพืชแบบอินทรีย์ แสดงดังตารางที่ 1 ส่วนค่าเป้าหมายได้มาจากการวิเคราะห์แบบจำลองแบบวัตถุประสงค์เดียวนำมาเป็นค่าเป้าหมายในแบบจำลองหลายเป้าหมาย จากการวิเคราะห์นั้นทำเฉพาะในการปลูกพืชฤดูแล้งในตำบลแม่แฝกใหม่ เนื่องจากในฤดูฝนเกษตรกรก็มักปลูกข้าวกันเป็นส่วนมาก พืชฤดูแล้งที่ปลูกมีทั้งแบบวิธีใช้สารเคมี เช่น มันฝรั่ง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ และพืชที่ใช้ปุ๋ยน้อย และไม่ใช้สารเคมี เช่น มันฝรั่งปลอดภัย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ปลอดภัย และพืชทางเลือกแบบอินทรีย์ เช่น มันฝรั่งอินทรีย์ ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์อินทรีย์ เป็นต้น ในด้านอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการผลิตพืช ได้ใช้ค่า emission factor ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 โครงสร้างแบบจำลองเป้าหมายกิจกรรมการผลิตพืชในหนึ่งฤดูการผลิตของเกษตรกรพื้นที่ตำบลแม่แฝกใหม่

กิจกรรมการผลิต / ข้อจำกัด	การผลิต	การจ้างแรงงาน	การกู้เงิน	ค่าเบี่ยงเบน			ความสัมพันธ์	ปริมาณข้อจำกัด
	$X_1 - X_{30}$	$L_{31} - L_{34}$	$F_{39} - F_{40}$	N_1	P_2	P_3		
วัตถุประสงค์ Min Z				$w_1 \frac{N_1}{g_1} \times 100$	$w_2 \frac{P_2}{g_2} \times 100$	$w_3 \frac{P_3}{g_3} \times 100$		
ที่ดิน	[1]						$\leq$	A_1
แรงงานครัวเรือน	$b_{ij} - b_{in}$	[-1]					$\leq$	$B_2 - B_5$
เงินทุน	$c_{ij} - c_{in}$		[-1]				$\leq$	C_{10}
เงินกู้			[1]				$\leq$	$FF_{11} - FF_{12}$
การตลาด	[1]						$\leq$	$E_{13} - E_{32}$
ด้านเศรษฐกิจ (กำไร)	[R]	[-h]	$[-r_k]$	-1			=	g_1
ด้านสิ่งแวดล้อม (Co_2)	$[Co_2]$				-1		=	g_2
ด้านสิ่งแวดล้อม (อัตราการใช้สารเคมี)	[v]					-1	=	g_3

หมายเหตุ: $b_{ij} - b_{in}$ = การใช้แรงงานตามช่วงต่างๆของแต่ละพืช $c_{ij} - c_{in}$ = การใช้เงินทุนในแต่ละพืช [R] = รายได้เหนือต้นทุนต่อไร่ [h] = ค่าจ้างแรงงาน [r_k] = อัตราดอกเบี้ย [Co_2] = การปลดปล่อยค่าคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิต [v] = มูลค่าสารเคมีที่ใช้ในพืชแต่ละพืช A =พื้นที่การเกษตรที่มี C = เงินลงทุนของตนเอง FF = เงินกู้ B = แรงงานในครัวเรือน และ E =พื้นที่จำกัดด้านการตลาดของสินค้าของพืชแบบปลอดภัยและพืชแบบอินทรีย์ g_3 =เป้าหมายด้านผลตอบแทน g_2 =เป้าหมายด้านการลดคาร์บอน g_3 = เป้าหมายด้านการลดสารเคมี w_1 =ค่าน้ำหนักด้านผลตอบแทน w_2 = ค่าน้ำหนักด้านการลดคาร์บอน w_3 = ค่าน้ำหนักด้านการลดสารเคมี

ตารางที่ 2 ค่า emission factor ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

รายการ	หน่วย	ค่าแฟคเตอร์ (kg CO_2e/หน่วย)
มันฝรั่ง	Kg	0.1223
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	Kg	0.2670
แตงกวา	Kg	0.3062
ถั่วฝักยาว	Kg	0.1457
กะหล่ำดอก	Kg	0.2229
ปลูกแบบปลอดภัย	Kg	0.0839
ปลูกแบบอินทรีย์	Kg	0.0565

ที่มา: องค์การบริหารการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2559

หมายเหตุ: ครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมดิน การปลูกการดูแลรักษา การเก็บเกี่ยวและการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และ ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ โดยผู้วิจัยได้ทำการการออกแบบสอบถามเกษตรกรในพื้นที่ตำบลแม่แฝกใหม่ รวมทั้งข้อมูลจากเอกสารจากหน่วยงานภาครัฐบาลและเอกเชน สื่ออิเล็กทรอนิกส์ (internet) ตลอดจนการใช้โปรแกรม excel ในการวิเคราะห์แบบจำลองหลายวัตถุประสงค์แบบมีน้ำหนัก weighted goal programming (WGP) และใช้โปรแกรม รตส. ที่ได้พัฒนาโดยเมธี เอกะสิงห์ และคณะ (เมธี เอกะสิงห์ และคณะ, 2550) เพื่อหาความสำคัญของเป้าหมาย โดยวิธีการ analytical hierarchy process (AHP)

4.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากการออกแบบสอบถามระดับครัวเรือนของเกษตรกรจำนวน 10 ราย ต่อชนิดพืชที่ให้ผลผลิตในฤดูแล้ง โดยมีทั้งหมด 5 ชนิด ประกอบด้วย มันฝรั่ง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ กะหล่ำดอก แตงกวา และถั่วฝักยาว และแยกตามการผลิตเป็นการปลูกแบบใช้สารเคมี ปลูกแบบปลอดภัย (ใส่ปุ๋ยแต่ไม่ใส่สารเคมี) และปลูกแบบอินทรีย์ รวมจำนวนแบบสอบถาม 150 ตัวอย่าง และเกษตรกรจำนวน 83 ราย ปีการผลิต 2559/60

เนื่องจากเกษตรกรบางรายสามารถปลูกพืชได้มากกว่า 1 ชนิด ใน 1 รอบปีการเพาะปลูก อีกทั้งได้การเก็บข้อมูลเรื่องน้ำหนักของวัตถุประสงค์ในการผลิต จะได้มีการประชุม 2 ครั้ง แต่ละครั้ง จำนวนผู้เข้าร่วมประชุมจำนวน 10 ราย ประกอบด้วยเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทางการเกษตร

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์เชิงพรรณนา (descriptive analysis) เพื่อทราบถึงปัญหาของการใช้ประโยชน์ที่ดินและประเด็นสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องตามวัตถุประสงค์ที่ 1 นั้น จะมีการรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและเขตที่เหมาะสมสำหรับการปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ

2. การหาความสำคัญเปรียบเทียบของวัตถุประสงค์ด้านการผลิตและสิ่งแวดล้อม โดยการแบบเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเกษตรกรและกลุ่มของเจ้าหน้าที่ ในพื้นให้น้ำหนักวัตถุประสงค์ต่างๆเปรียบเทียบกัน พร้อมให้เหตุผลตามวิธีการของ analytical hierarchy process (AHP) โดยจะได้ใช้โปรแกรม รตส. ที่ได้พัฒนาโดยเมธี เอกะสิงห์ และคณะ (เมธี เอกะสิงห์ และคณะ, 2550)

3. การวิเคราะห์การวางแผนการผลิตพืชอย่างเหมาะสม การวางแผนเพื่อการใช้พื้นที่การผลิตอย่างเหมาะสม ภายใต้วัตถุประสงค์หลายด้าน คือ ผลตอบแทนสูงสุด การลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ การลดสารเคมีที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม ตามวัตถุประสงค์ที่ 2 ของการศึกษานั้น จะได้อาศัยการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองหลายวัตถุประสงค์แบบมีน้ำหนัก weighted goal programming (WGP) โดยอาศัยการคำนวณจากโปรแกรม excel

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 การเปรียบเทียบ ต้นทุนการผลิต ผลตอบแทนสุทธิ และผลผลิตเฉลี่ย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเปรียบเทียบรายได้ ต้นทุนการผลิต ผลตอบแทนสุทธิ ในการผลิตของเกษตรกรผู้ปลูกพืช 5 ชนิด ได้แก่ มันฝรั่ง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แตงกวา ถั่วฝักยาว และกะหล่ำดอก โดยมีรูปแบบการปลูกพืชอยู่ 3 รูปแบบ คือ การปลูกพืชแบบใช้สารเคมี แบบปลอดภัย และแบบอินทรีย์ ดังนี้

ด้านต้นทุนในการเพาะปลูกพืช พบว่า การปลูกพืชแบบอินทรีย์จะมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ รองลงมาเป็นแบบปลอดภัย และสุดท้ายคือแบบสารเคมี ตามลำดับ เนื่องจากเกษตรกรที่ปลูกพืชอินทรีย์มีการใช้ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพในบำรุง เพื่อลดต้นทุนการผลิตตามแนวคิดเศรษฐกิจสีเขียว แต่ในทางกลับกันเกษตรกรบางรายที่ปลูกพืชแบบใช้สารเคมีก็จะมีต้นทุนที่สูง เพราะใช้ปุ๋ยเคมีและสารเคมีในการผลิตและการบำรุงพืชให้เจริญงอกงาม

ด้านผลตอบแทนสุทธิต่อไร่ พบว่า การปลูกพืชแบบอินทรีย์สามารถสร้างผลตอบแทนต่อไร่สูงสุดสำหรับการปลูกมันฝรั่ง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แตงกวา ถั่วฝักยาว และกะหล่ำดอก ตามลำดับ เนื่องจากเกษตรกรที่มีการเพาะปลูกพืชแบบอินทรีย์มีการจัดการต้นทุนที่ดีกว่าการปลูกพืชแบบปลอดภัยและใช้สารเคมี ทำให้ผลของรายได้ที่ได้รับสูงตามไปด้วย

ดังนั้นการปลูกพืชแบบอินทรีย์จะมีรายได้จากการเพาะปลูกที่สูงและมีต้นทุนที่ต่ำ เพราะมีการควบคุมของการใช้ต้นทุนที่ดี อีกทั้งเกษตรกรไม่ใช้สารเคมี ปุ๋ยเคมี ในการปลูกพืช รวมถึงราคาที่มีการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ที่มีความไม่แน่นอน จึงทำให้เกษตรกรได้ผลตอบแทนในการผลิตที่สูงขึ้น แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบ รายได้ ต้นทุนการผลิต ผลตอบแทนสุทธิ และผลผลิตเฉลี่ย

ชนิดพืช	รายได้ (บาท/ไร่)	ต้นทุนการผลิต (บาท/ไร่)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (กก./ไร่)
การปลูกพืชแบบใช้สารเคมี				
มันฝรั่ง	31,039.92	23,374.75	7,665.17	2,475.10
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	9,204.27	7,068.76	2,135.51	1,014.22
แตงกวา	26,237.74	19,074.21	7,163.53	2,211.32
ถั่วฝักยาว	24,745.45	17,220.97	7,524.49	1,359.09
กะหล่ำดอก	28,973.98	20,097.80	8,526.27	2,353.98
การปลูกพืชแบบปลอดภัย				
มันฝรั่ง	32,632.29	22,013.80	10,618.49	2,172.92
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	8,624.01	6,625.12	3,903.26	1,035.33
แตงกวา	28,045.83	18,875.24	9,170.60	2,200.00
ถั่วฝักยาว	26,625.00	16,811.30	9,813.70	1,377.27
กะหล่ำดอก	29,614.91	17,984.78	10,630.13	2,309.32
การปลูกพืชแบบอินทรีย์				
มันฝรั่ง	33,536.87	20,847.30	12,689.57	2,254.38
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	10,071.96	6,186.59	5,847.74	1,088.27
แตงกวา	30,276.60	17,737.77	12,538.82	2,127.66
ถั่วฝักยาว	27,755.32	15,038.33	12,719.99	1,314.89
กะหล่ำดอก	30,065.79	17,925.16	12,140.63	2,026.32

ที่มา: จากการวิเคราะห์

5.2 การให้น้ำหนักความสำคัญของเป้าหมายในแต่ละวัตถุประสงค์โดยวิธีการตัดสินใจแบบลำดับขั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP)

การใช้กระบวนการตัดสินใจตามลำดับขั้น AHP ในการหาค่าน้ำหนักเป้าหมาย ด้วยการมีส่วนร่วมการประชุมผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. กลุ่มตัวแทนเกษตรกรในตำบลแม่แฝกใหม่ อำเภอสันทราย จำนวน 14 หมู่บ้าน

2. กลุ่มของนักวิชาการและเจ้าหน้าที่ของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรจำนวน 10 คน ได้แก่ เจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรอำเภอสันทราย และเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรเทศบาลเจดีย์เจริญ ตำบลแม่แฝกใหม่

โดยกระบวนการตัดสินใจแบบลำดับชั้นในการพิจารณาเป้าหมายใน 3 หลัก ได้แก่ เป้าหมายทางด้านผลกำไรสูงสุด เป้าหมายทางด้านการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคการเกษตร และเป้าหมายทางด้านการลดอัตราการใช้สารเคมีทางการเกษตร

จากการประชุมหารือเพื่อหาค่าน้ำหนักระหว่างกลุ่มเกษตรกรและกลุ่มเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทางการเกษตร พบว่า ทั้ง 2 กลุ่ม ได้ให้ความสำคัญกับค่าเป้าหมายที่คล้ายกัน ได้แก่ การให้ความสำคัญกับเป้าหมายทางเศรษฐกิจในด้านกำไรสูงสุด โดยกลุ่มเกษตรกรให้ค่าน้ำหนัก เท่ากับ 0.550 ส่วนกลุ่มเจ้าหน้าที่ให้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.493 แต่อย่างไรก็ตามก็มีสิ่งแตกต่างกันในการให้ค่าน้ำหนักของทั้ง 2 กลุ่ม คือ การให้ค่าน้ำหนักของด้านการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยกลุ่มของเกษตรกรจะให้น้ำหนักในด้านของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เท่ากับ 0.210 ซึ่งก็มีค่าน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันกับกลุ่มเจ้าหน้าที่ เท่ากับ 0.196 ส่วนค่า

น้ำหนักของด้านการลดอัตราการใช้สารเคมีทางการเกษตร กลุ่มของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องกับทางการเกษตร เท่ากับ 0.311 ส่วนกลุ่มเกษตรกร เท่ากับ 0.240

5.3 แผนการผลิตพืชที่เหมาะสมแบบหลายเป้าหมายโดยการถ่วงน้ำหนัก

จากแผนการผลิตพืชที่เหมาะสมแบบหลายเป้าหมายโดยการถ่วงน้ำหนักในครั้งนี้ พบว่า เมื่อมีการคำนึงถึงเป้าหมายในหลายๆด้านในการผลิต รวมถึงรูปแบบของเพาะปลูกโดยจากการวิเคราะห์ จากพื้นที่เพาะปลูกรวมของตำบล 2,880 ไร่ พบว่า แบบจำลองได้แนะนำในการให้ปลูกพืชแบบสารเคมี คือ การปลูกมันฝรั่งกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 1,913.40 ต่อมาได้แนะนำให้การปลูกพืชแบบปลอดภัยมากที่สุด คือ ปลูกมันฝรั่งกับข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ จำนวน 264.15 ไร่ ส่วนการปลูกแบบอินทรีย์ แบบจำลองได้แนะนำให้ปลูกมากที่สุด คือ ปลูกมันฝรั่งกับกะหล่ำดอก จำนวน 232.20 ไร่ โดยสัดส่วนของการปลูกแบบปลอดภัยเท่ากับ ร้อยละ19.28 ของพื้นที่เพาะปลูก การปลูกแบบอินทรีย์เท่ากับ ร้อยละ 14.28 ของพื้นที่เพาะปลูก และการปลูกแบบใช้สารเคมีเท่ากับ ร้อยละ 66.44 ของพื้นที่เพาะปลูก

ผลการศึกษานี้ พบว่า แม้ว่าการผลิตแบบปลอดภัยและแบบอินทรีย์จะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าแบบใช้สารเคมี แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดทางการตลาดที่ผลผลิตแบบปลอดภัยและแบบอินทรีย์ไม่สามารถจำหน่ายผลผลิตที่แพร่หลายเท่าแบบปรกติ ทำให้แผนการผลิตที่เหมาะสมของแบบจำลองนี้ยังมีการผลิตแบบใช้สารเคมีมากอยู่ถึง ร้อยละ 66.44 ของพื้นที่ ซึ่งสมเหตุสมผลในความเป็นจริงทางปฏิบัติ เพราะการเปลี่ยนแปลงไปสู่การผลิตที่ดีต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมด อาจยังมีข้อจำกัดหลายด้าน

5.4 แนวทางการสร้างแบบวิเคราะห์สถานการณ์ (scenario analysis)

สำหรับการวิเคราะห์สถานการณ์ในอนาคต (scenario analysis) โดยจำลองสถานการณ์ 4 กรณี คือ 1) กรณีการเปลี่ยนค่าน้ำหนักความสำคัญของเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทางการเกษตร จากการประชุมโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก พบว่า กลุ่มเกษตรกรให้ค่าน้ำหนักของค่าเป้าหมายเปลี่ยนแปลงไปเป็น 0.210 0.425 และ 0.365 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มเจ้าหน้าที่ก็ได้ให้ค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงไปเป็น 0.196 0.409 และ 0.395 ตามลำดับ 2) กรณีการใช้พื้นที่ปลูกพืชแบบอินทรีย์เพียงชนิดเดียว 3) กรณีการใช้พื้นที่ปลูกพืชแบบปลอดภัยเพียงชนิดเดียว โดยทั้ง 2 กรณีนี้ มีการกำหนดพื้นที่ในการเพาะปลูกพืชเพียงหนึ่งระบบต่อ 1 พื้นที่การเพาะปลูก และ 4) กรณีการใช้พื้นที่ปลูกพืชแบบปลอดภัยและการปลูกพืชแบบอินทรีย์ พบว่า เป้าหมายกำไรมีค่าน้อยลงจาก 132.10 ล้านบาท เป็น 128.86 ล้านบาท 120.67 ล้านบาท 127.51 ล้านบาท และ117.82 ล้านบาท ทำให้บรรลุเป้าหมายได้เพียง ร้อยละ 97.60 ร้อยละ 91.40 ร้อยละ 96.59 และร้อยละ 89.25 ตามลำดับ การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เดิมจาก 0.69 ล้าน kg Co_2 เกิดค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 0.81 ล้าน kg Co_2 0.14 ล้าน kg Co_2 0.55ล้าน kg Co_2 และ0.33 ล้าน kg Co_2 ทำให้กรณีที่ 1 สามารถบรรลุเป้าหมายได้เพียง ร้อยละ 82.60 ส่วนอีก 3 กรณี สามารถบรรลุเป้าหมายได้ถึง ร้อยละ 179.71 ร้อยละ 120.28 และร้อยละ 152.17 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการอัตราการใช้สารเคมีทางการเกษตรจากเดิม 8.45 ล้านบาท เกิดค่าเบี่ยงเบนเท่ากับ 9.75 ล้านบาท 0 ล้านบาท (เป็นการปลูกพืชแบบอินทรีย์จึงไม่มีการใช้สารเคมีมาเกี่ยวข้อง) 8.22 ล้านบาท และ5.01 ล้านบาท ตามลำดับ ทำให้กรณีที่ 1 สามารถบรรลุเป้าหมายได้เพียง ร้อยละ 88.16 ส่วนอีก 3 กรณี สามารถบรรลุเป้าหมายได้ถึง ร้อยละ 200 ร้อยละ 102.72 ร้อยละ 140.71 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม แผนการผลิตพืชจากการจำลองสถานการณ์คำนึงถึงผลตอบแทนสูงสุดคือ กรณีที่ 1 ส่วนการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารเคมีน้อยที่สุดจะเป็นกรณีที่ 2 คือกรณีปลูกพืชอินทรีย์ทั้งหมด แต่

กรณีนี้ การบรรลุเป้าหมายทางกำไรสูงสุดเพียงร้อยละ 91.6 รองลงมาคือ กรณีที่ 4 (กรณีปลูกทั้งแบบอินทรีย์และแบบปลอดภัย) และ กรณี 3 (กรณีปลูกแบบปลอดภัย) ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 4 กรณีของการวิเคราะห์สถานการณ์ มีการบรรลุเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อมดีกว่า กรณีฐานซึ่งบรรลุเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อมเพียงร้อยละ 62-63 เท่านั้น แต่มีการบรรลุเป้าหมายด้านกำไรลดลงไปจากกรณีฐานเพียงเล็กน้อยโดยมีการบรรลุเป้าหมาย ร้อยละ 97.6 91.4 96.6 และ 89.3 เท่านั้น สำหรับกรณี 1-4 ตามลำดับ แต่โดยรวมๆ กรณีที่ 3 (การปลูกแบบปลอดภัย) จะเป็นกรณีที่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ต่างๆได้ดี และเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากที่สุด คือ สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ต่างๆ ราวร้อยละ 97-120

6. อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมีหลายวัตถุประสงค์ในการผลิต การผลิตที่เหมาะสมอาจต้องมีการผสมผสานระหว่างการผลิตแบบเดิม แบบปลอดภัย และแบบอินทรีย์ แม้ว่าการผลิตแบบอินทรีย์จะดีต่อสิ่งแวดล้อมในแง่การลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารเคมี แต่ข้อจำกัดด้านการตลาดทำให้การผลิตไม่สามารถมีได้เต็มที่ ถ้ามีการขยายตลาดก็อาจทำให้วัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมดีขึ้น ดังเช่นการวิเคราะห์สถานการณ์ในอนาคต (scenario analysis) พบว่า การผลิตแบบอินทรีย์ทั้งหมด มีการบรรลุเป้าหมายด้านกำไรมีค่าลดลงจากการค่าเป้าหมายเล็กน้อยเท่ากับ ร้อยละ 91.40 ในทางกลับกันการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และอัตราการใช้สารเคมีในการผลิตแบบอินทรีย์และปลอดภัย พบว่า สามารถบรรลุเป้าหมายได้ ร้อยละ 152.17 และร้อยละ140.71 ตามลำดับ ซึ่งจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในการปลูกตามสถานการณ์ในอนาคต สามารถทำให้มีการลดคาร์บอนไดออกไซด์และสารเคมีลดลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบดังต่อไปนี้กระบวนการผลิตอาจมีความซับซ้อน สภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด ด้วยเหตุเหล่านี้จึงทำให้ไม่สามารถปลูกพืชอินทรีย์หรือปลอดภัยเพียงอย่างเดียวได้ สำหรับเชิงนโยบายของรัฐบาลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการเพิ่มประสิทธิภาพองค์ความรู้และมีการทดสอบสาธิตเกี่ยวกับการเพาะปลูก รวมถึงการใช้สารเคมีที่ถูกต้อง ตลอดจนเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมการวิเคราะห์แบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ สามารถแสดงผลที่เป็นการเลือกระหว่างการบรรลุเป้าหมายต่างๆ ซึ่งอาจมีความขัดแย้งกัน อย่างไรก็ตามสามารถนำแบบจำลองไปใช้วิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อประกอบการพิจารณาในการวางแผนการผลิต รวมถึงเป็นแนวทางให้นโยบายของรัฐบาลที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

การศึกษาในครั้งนี้ ได้ใช้แบบจำลองวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงเวลา 1 ฤดูการผลิต เนื่องจากข้อมูลอาจมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี หากต้องการให้เกิดความมั่นใจในผลวิเคราะห์ในด้านต่างๆ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาแบบจำลองแบบหลายช่วงเวลา เพื่อให้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงการผลิตและการใช้ทรัพยากรได้ดียิ่งขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

การวางแผนการผลิตพืชในครั้งนี้ไม่ได้นำเอาประเด็นความเสี่ยงในการผลิตเข้ามาพิจารณา ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรทำการศึกษาความเสี่ยงหรือความแปรรวนทางรายได้ หรือนำมาเป็นอีกวัตถุประสงค์ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผนการผลิตเพิ่มมากขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

ณัฐวรรธน์ สุนทรวริทธิโชติ. 2556. การศึกษาสภาพปัญหาสิ่งแวดล้อมในเขตตำบลสามบัณฑิต: กรณีศึกษา ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของประชาชน. รายงานผลการวิจัย. คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.

พลกฤช ตันติญานุกลู. 2555. “การวางแผนการผลิตทางการเกษตรโดยใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น ตามแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง ในพื้นที่จังหวัดสมุทรสาคร.” คณะบริหารธุรกิจ. วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม.

วราภรณ์ ชัยวินิจ. 2552. “แผนการผลิตพืชบนพื้นที่สูงที่เหมาะสมเชิงเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมในระดับฟาร์ม ลุ่มน้ำแม่ศึก อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์เกษตร. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. “พื้นที่การเกษตรระดับภาค.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: *http://www.oae.go.th/biae/download/Journals/Paper_Green%20Economy.pdf* [1 เมษายน 2559].

สำนักงานเกษตรอำเภอสันทราย. 2556. “ข้อมูลพื้นฐานเกษตรกร.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: *https://sansaiagri.wordpress.com/* [1 เมษายน 2559].

เบญจพรรณ เอกะสิงห์, กุศล ทองงาม, กมล งามสมสุข และเมธี เอกะสิงห์. 2550. “การร่วมตัดสินใจหาทางเลือกเพื่อรับมือกับความเสี่ยงทางเศรษฐกิจการเกษตรในจังหวัดเชียงใหม่ พะเยา และลำปาง.” **รายงานการประชุมวิชาการระบบเกษตรแห่งชาติ ครั้งที่ 4**. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 359-370.

ปรีชา เปียมพงศ์สานต์และชัยณรงค์ เครือวน. 2558. “เศรษฐกิจสีเขียวในชุมชนท้องถิ่นไทย: ศึกษาชุมชนท้องถิ่นแห่งหนึ่งในภาคตะวันออก.” **วารสารเศรษฐศาสตร์การเมืองบูรพา**. 3(2): 85-102.

เมธี เอกะสิงห์ เบญจพรรณ เอกะสิงห์ กมล งามสมสุข และกุศล ทองงาม .2550. การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์ เป็นลำดับชั้น (AHP) ในการตัดสินใจเลือกปลูกผักปลอดสารพิษของกลุ่มเกษตรกร. **รายงานการประชุมวิชาการ ศวพก. ปี 2550**. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 7-8 กันยายน 2550 ณ อิมพีเรียลเชียงใหม่รีสอร์ท เชียงใหม่.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2559. “ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP).” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: *http://www.tgo.or.th/2015/thai/content.php?s1=10&s2=171* [19 ตุลาคม 2561].

Dantzig, G.B., and Manne, A.S. (1974). “A Complementarity Algorithm for an Optimal Capital Path with Invariant Proportions,” **Journal of Economic Theory**. 9, 312–323.

Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York.

ภาวะโลกร้อน: ปัญหาที่ท้าทายในศตวรรษที่ 21

Global Warming: The Challenge for 21ST Century

มนนภา เทพสุด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Monnapa.th@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ต้องการศึกษาถึงปัญหาภาวะโลกร้อน ที่ครอบคลุมทั้งในด้านสาเหตุ ผลกระทบและปัญหาที่เกิดขึ้น ตลอดจนถึงแนวทางการแก้ไขปัญหา ผลการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุหลักของการเกิดภาวะโลกร้อน มาจากปรากฏการณ์เรือนกระจกมีความรุนแรงเกินกว่าปกติ เหตุเพราะมีก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกปล่อยออกมาจากผลการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์ แพร่กระจายอยู่ภายในชั้นบรรยากาศจนเกินระดับความสมดุลทางธรรมชาติ วิกฤติสภาพอากาศที่เกิดขึ้นทั้งคลื่นความร้อน ภัยแล้ง พายุ และฝนที่ตกมาอย่างหนัก ซึ่งปรากฏขึ้นอย่างบ่อยครั้งและทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ได้ส่งผลกระทบทั้งต่อธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและการดำรงอยู่ของมนุษย์ สำหรับแนวทางการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน สามารถทำได้โดยการลดปริมาณปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ บนสามแนวทางหลัก คือ 1) การลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ 2) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ และ 3) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิต ซึ่งถึงแม้ความพยายามแก้ปัญหานี้จะมีมานับตั้งแต่ที่เริ่มมีการบังคับใช้พิธีสารเกียวโต หากแต่ภาวะโลกร้อนก็ยังคงเป็นปัญหาที่จะท้าทายมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 ต่อไป

คำสำคัญ: ภาวะโลกร้อน ก๊าซเรือนกระจก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พิธีสารเกียวโต

ABSTRACT

This study aimed to examine global warming problem. The study focused on the causes of global warming, its impacts and problems, the way to solve the problems. The results showed that the major cause of global warming came from severe unusual greenhouse effect as the level of greenhouse gases, particularly carbon dioxide released from human activities, accumulated in the atmosphere was higher than those removed by natural processes. This phenomenon has increased a severity of climate change, heat waves, drought, storm and natural disasters, 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 the atmosphere, and removing carbon dioxide from the atmosphere and from the generating sources emission. Although, The

problem has been solved since began forcing the Kyoto Protocol, but the global warming problem remain challenging to human in the 21 st century.

KEYWORDS: Global warming, Greenhouse gas, Carbon dioxide, Kyoto Protocol

1. บทนำ

เป็นที่ชัดเจนว่า ในขณะที่สังคมโลกได้พัฒนาสู่ยุคแห่งความรุ่งโรจน์ทางเทคโนโลยี ซึ่งมุ่งเน้นการสร้างสรรค์ความมั่งคั่งทางวัตถุ ที่อุดมด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกสบายต่างๆ อย่างมากมาย เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของหมู่มวลมนุษย์ด้วยกันเองให้ดีขึ้นนั้น ภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอันดับหนึ่งของโลกกลับยังคงทวีความรุนแรง จนหลายประเทศต้องเผชิญกับภัยพิบัติต่างๆ ที่ร้ายแรง ทั้งคลื่นความร้อน ภัยแล้ง ไฟป่า พายุ จนธรรมชาติสิ่งแวดล้อมมีสภาพเสื่อมทรุดลง อีกทั้งน้ำแข็งขั้วโลกยังละลายตัวอย่างรวดเร็ว จนระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 10-25 เซนติเมตร(ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, 2550 : 66) ทั้งแม้ช่วงที่ผ่านมาจะมีความพยายามแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนทั้งในระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับโลก หากแต่ปัญหานี้ก็ยังคงมีแนวโน้มที่จะนำไปสู่วิกฤตการณ์อันตราย และตามมาเป็นปัญหาที่ท้าทายของโลกในศตวรรษที่ 21

บทความนี้ จึงต้องการศึกษาถึงลักษณะของปัญหาภาวะโลกร้อนที่ท้าทายมวลมนุษย์ในศตวรรษที่ 21 โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาถึงปัญหาภาวะโลกร้อน ที่ครอบคลุมทั้งสาเหตุ ผลกระทบและปัญหาที่ขยายตัวรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหา ที่จะสามารถช่วยให้สังคมโลกรอดพ้นอันตรายจากวิกฤติการณ์ภาวะโลกร้อนได้

2. วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาถึงสาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน

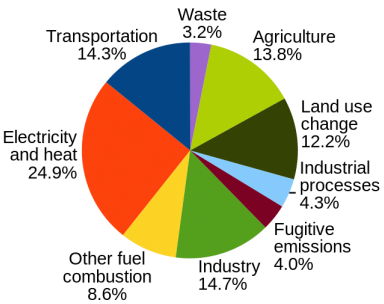
(2) เพื่อศึกษาถึงผลกระทบและปัญหาที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

(3) เพื่อศึกษาถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน

3. สาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน

3.1 ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่รุนแรง: สาเหตุของการเกิดภาวะโลกร้อน

ข้อมูลจากรายงานการตรวจประเมินสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 4 (Fourth Assessment Report; AR4) ที่เผยแพร่โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ “ไอพีซีซี” (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ขององค์การสหประชาชาติ ตั้งแต่เมื่อครั้งปี พ.ศ. 2550 ได้ระบุยืนยันชัดเจนว่า สาเหตุสำคัญที่ทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกิดเป็นภาวะโลกร้อน (Global Warming) มาจากาซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยออกมาจากผลการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทั้งในภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม ป่าไม้และการใช้ที่ดิน และภาคของเสียในโลกยุคอุตสาหกรรม โดยมีสัดส่วนต่างๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงภาคกิจกรรมและสัดส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลกในปี พ.ศ. 2548 (ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Annual-world-greenhouse-gas-emissions-by-sector-2005-Herzog-2009_fig8_316544565)

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ที่เพิ่มพูนขึ้นเรื่อยๆ อย่างมากเกินความพอดีนี้ ได้ส่งผลอันตรายให้ปรากฏการณ์เรือนกระจก ซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกการควบคุมสมดุลพลังงานของโลกดำเนินไปอย่างมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น (สืบค้นเมื่อ 1 พ.ย. 2561, จาก https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-2-1.html) อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกจึงค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเหนือจากค่าเฉลี่ยตามธรรมชาติที่เคยดำเนินมาอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส

ที่เป็นเช่นนี้เพราะ โดยธรรมชาติแล้วเมื่อรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังพื้นผิวโลก รังสีส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับขึ้นสู่อวกาศโดยทันที และอีกส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 70 จะเคลื่อนที่ตกกระทบลงมายังพื้นผิวโลก จนเมื่อพื้นผิวโลกได้รับความอบอุ่นเพียงพอแล้ว พื้นผิวโลกก็จะปลดปล่อยความร้อนส่วนที่เหลือซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดออกมา ซึ่งรังสีส่วนหนึ่งจะสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศออกสู่อวกาศได้ทันที แต่อีกส่วนที่เหลือจะถูกบรรดาก๊าซเรือนกระจกทั้งคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ ไอน้ำ และโอโซน ซึ่งแพร่กระจายด้วยปริมาณโดยรวมเพียงไม่ถึงร้อยละ 0.1 ในบรรยากาศใกล้ผิวโลกชั้นโทรโปสเฟียร์ (Common, 1995: 279) ร่วมกันดูดกลืนแล้วค่อยๆ ปล่อยกระจายกลับออกมาสู่ชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลกในอีกครั้งอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นปรากฏการณ์เรือนกระจก ที่ส่งผลให้พื้นผิวโลกมีความอบอุ่นสะสมอยู่ที่อุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 15 องศาเซลเซียส (สุรินทร์ เหล่าสุขสถิตย์, 2551, 24) ซึ่งนับว่าเป็นระดับอุณหภูมิที่มีคุณประโยชน์อย่างมากต่อทุกชีวิต

หากแต่เมื่อภายในชั้นบรรยากาศที่ปกคลุมพื้นผิวโลก มีปริมาณก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ แพร่กระจายอยู่มากเกินระดับความสมดุลทางธรรมชาติ ก๊าซเรือนกระจกซึ่งมีปริมาณมากเกินเหล่านี้ จึงแสดงผลร่วมกันกักเก็บความร้อนไว้ไม่ให้สะท้อนผ่านออกนอกผิวโลก ด้วยการดูดกลืนรังสีความร้อนที่พื้นผิวโลกแผ่ออกมา แล้วปล่อยกระจายกลับคืนออกมาสู่ชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลกได้มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปรากฏการณ์เรือนกระจกจึงดำเนินไปอย่างรุนแรงขึ้น ความร้อนจึงถูกเก็บสะสมไว้บนพื้นผิวโลกและในชั้นบรรยากาศเหนือโลกได้มากกว่าปกติ จนอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นตามมาแล้วเกิดเป็นภาวะโลกร้อน ที่ส่งผลอันตรายให้สภาพภูมิอากาศโลกต้องเปลี่ยนแปลงไป (Climate Change) ดังเช่นที่ปรากฏอยู่ในทุกวันนี้

3.2 คาร์บอนไดออกไซด์: ก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักแห่งภาวะโลกร้อน

สถิติการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในชั้นบรรยากาศเหนือโลก ซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ นับตั้งแต่สังคมโลกเข้าสู่ยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรมเมื่อราว 200 ปีที่ผ่านมา คือหนึ่งในหลักฐานอันสำคัญที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างผิดธรรมชาตินั้นเกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก

โดยมีคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักที่ก่อให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน เหตุเพราะมีปริมาณการสะสมตัวถึงร้อยละ 54 ซึ่งมากกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นๆ (สืบค้นเมื่อ 7 พ.ย. 2561, จาก http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/images/RelativeContributionOf GlobalWarming.html) ถึงแม้ว่าจะเป็นก๊าซที่มีศักยภาพทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้น้อยสุดก็ตาม

3.3 เชื้อเพลิงฟอสซิล: แหล่งปล่อยใหญ่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

สำหรับแรงขับเคลื่อนสำคัญ ที่เข้ามาผลักดันให้ภายในชั้นบรรยากาศเหนือโลก มีปริมาณการสั่งสมตัวของคาร์บอนไดออกไซด์มากสุดนั้น ก็สืบเนื่องมาจากกระแสการพัฒนาในโลกยุคอุตสาหกรรม ที่ได้วางโครงสร้างพื้นฐานทางพลังงานบนฐานเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดใหญ่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ด้วยในตลอดระยะเวลากว่าสองศตวรรษที่ผ่านมา การเพิ่มกำลังการผลิตที่เปลี่ยนจากการใช้แรงงานคนมาสู่การใช้แรงงานเครื่องจักรกลในโลกยุคอุตสาหกรรม ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญทำให้นานาประเทศทั่วโลกมุ่งระดมเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล ทั้งถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติกันอย่างมหาศาล เพื่อผลิตพลังงานมาใช้ทั้งในภาคการเกษตร การอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และอื่นๆ โดยมีการเผาทำลายพื้นที่ป่าอย่างไร้การควบคุม เพื่อขยายพื้นที่เมือง ในการรองรับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในทุกๆ ปี เป็นปัจจัยเสริมสำคัญที่เข้ามาเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในอีกทางหนึ่ง

ในช่วงที่ผ่านมา ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกผลิตแล้วปล่อยออกมา สั่งสมตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศอย่างไม่หยุดนิ่ง จนมีค่าความเข้มข้นเพิ่มสูงถึงระดับ 351 ส่วนในล้านส่วน (ppm) เมื่อในปี พ.ศ. 2531 ซึ่งนับว่าสูงเกินระดับความปลอดภัยที่ถูกกำหนดไว้ที่ 350 ppm (สืบค้นเมื่อ 7 พ.ย. 2561, จาก http://400.350.org/) เป็นครั้งแรก และถึง 400.8 ppm ในปี พ.ศ. 2558 ซึ่งนับเป็นระดับที่ไม่เคยพบมาก่อนในรอบสามล้านปี และถึงระดับ 405.0 ppm แล้วในปีที่ผ่านมา (สืบค้นเมื่อ 3 พ.ย. 2561, จาก https://www.esrl.noaa. gov/gmd/ccgg/trends/)

ทั้งที่ตลอดระยะเวลาหนึ่งหมื่นปีก่อนยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม ความสมดุลระหว่างการกักเก็บและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่มีอยู่ตามกระบวนการทางธรรมชาติ ได้ส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมีค่าความเข้มข้นค่อนข้างคงที่ที่ 280 ppm เท่านั้น

4. ผลกระทบที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

สภาพอากาศร้อนที่แผ่ขยายลุกลามไปทั่วโลก ผนวกกับฝนที่ตกมาอย่างผิดฤดูกาล อีกทั้งช่วงฤดูร้อนที่กว้างขึ้นและฤดูหนาวที่แคบลง คือสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากผลของภาวะโลกร้อน ซึ่งทางองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO) ได้ยืนยันแล้วว่า ในรอบปีที่ผ่านมาอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องถึง 0.84 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบจากระดับในช่วงปี พ.ศ 2423-

2560 ซึ่งนับว่าสูงเป็นอันดับสามในรอบ 138 ปี นับตั้งแต่ที่เริ่มมีการบันทึกสถิติเลยทีเดียว (สืบค้นเมื่อ 7 พ.ย. 2561, จาก https://www.ncdc. noaa.gov sotc/ global/201713)

สำหรับผลกระทบที่ตามมาจากภาวะโลกร้อนนั้นมีมากมาย โดยเฉพาะในด้านของธรรมชาติสิ่งแวดล้อม ซึ่งตกอยู่ในสภาวการณ์เสื่อมทรุดลงอย่างหนัก จนนำพาปัญหาต่างๆ มาสู่มวลมนุษย์ ซึ่งที่เห็นอย่างเด่นชัดมีดังนี้

4.1 สภาพอากาศที่รุนแรง

เนื่องด้วยอุณหภูมิและความชื้นบนผิวโลก ต่างเป็นองค์ประกอบร่วมในการกำหนดสภาพดินฟ้าอากาศ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น สภาพภูมิอากาศโลกจึงเปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มรุนแรงเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงที่ผ่านมาหลายประเทศต้องเผชิญกับสภาพอากาศที่รุนแรง ทั้งร้อนจัด หนาวจัด และฝนที่ตกกระหน่ำลงมาอย่างไม่เป็นไปตามฤดูกาล ดังเช่น การเกิดคลื่นความร้อนเข้าแผ่ปกคลุมในสามรัฐใหญ่ของประเทศออสเตรเลีย จนทำให้นครซิดนีย์มีสภาพอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบ 79 ปี

4.2 การเกิดภัยพิบัติร้ายแรง

อุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นบนพื้นผิวโลก เป็นปัจจัยเสริมสำคัญที่ทำให้ภัยพิบัติต่างๆ ทั้งภัยแล้ง ไฟป่า ฝนตกหนัก และพายุ ทวีความรุนแรงโถมเข้ามาสร้างความเสียหายอย่างบ่อยครั้งได้มากขึ้น ซึ่งที่ได้รับความเสียหายอย่างหนักมีดังเช่น การเกิดภัยแล้งรุนแรงที่สุดในรอบกว่า 100 ปีที่ประเทศออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2561

4.3 การละลายตัวอย่างรวดเร็วของน้ำแข็งขั้วโลก

ทีมนักวิทยาศาสตร์จากศูนย์ข้อมูลน้ำแข็งและหิมะแห่งชาติ (National Snow and Ice Data Center, NSIDC) ได้เปิดเผยผลการสำรวจขั้วโลกเหนือด้วยดาวเทียมว่า แผ่นน้ำแข็งที่ปกคลุมผืนโลกบริเวณมหาสมุทรอาร์กติก ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อภาวะโลกร้อนมากสุด และเคยมีขนาดพื้นที่กว้างใหญ่ถึง 7.7 ล้านตารางกิโลเมตร เมื่อช่วงฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2522-2543 (สืบค้นเมื่อ 7 พ.ย. 2561, จาก http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/ 6944401.stm) ได้เกิดการละลายตัวอย่างรวดเร็ว จนมีความหนาบางลงและมีขนาดพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในแนวโน้มที่เล็กลงอย่างต่อเนื่อง โดยมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยเหลือเพียง 4.71 ล้านตารางกิโลเมตรในช่วงฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2561 (สืบค้นเมื่อ 5 พ.ย. 2561, จาก https://rusi.org/commentary/ britains-defence-and-arctic-timely-reminder)

ที่สำคัญยิ่งคือ เมื่อเดือนมีนาคม (ช่วงฤดูหนาวของขั้วโลกเหนือ) ของปี พ.ศ. 2561 ผืนน้ำแข็งแห่งนี้ได้แผ่ขยายตัวจนมีขนาดพื้นที่เฉลี่ยมากสุด 14.48 ล้านตารางกิโลเมตร ซึ่งถือเป็นขนาดต่ำสุดเป็นอันดับสองในรอบ 39 ปีนับตั้งแต่มีการบันทึกสถิติมา (สืบค้นเมื่อ 7 พ.ย. 2561, จาก https://earthsky.org/earth/2018-arctic-winter-sea-ice-extent-2nd-lowest

4.4 การสูญเสียพื้นที่ชายฝั่งทะเล

ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการขยายตัวของน้ำทะเลที่อุ่นขึ้น ผนวกกับการละลายตัวของน้ำแข็งขั้วโลก ได้ส่งผลกระทบเชื่อมโยงให้น้ำทะเลมีระดับเพิ่มสูงขึ้น จนทำให้พื้นที่ลุ่มต่ำตามแนวชายฝั่งทะเลรวมทั้งหมู่เกาะต่างๆ ถูกน้ำทะเลเข้ารุกท่วมและกัดเซาะชายฝั่งรุนแรงขึ้นจนถึงขั้นต้องสูญเสียพื้นที่ดินบริเวณชายฝั่งทะเลมากยิ่งขึ้น

4.5 การขยายตัวของผืนทะเลทราย

อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน จะทำให้ความชื้นในดินและผิวดินจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว จนทำให้พื้นที่บางแห่งโดยเฉพาะพื้นดินในเขตร้อนซึ่งมีฝนตกน้อย เกิดความแห้งแล้งอย่างรุนแรงและยาวนาน จนต้องกลายสภาพเป็นทะเลทราย ดังเช่นที่เกิดขึ้นในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ทิเบต และยุโรปใต้

4.6 ความเหือดแห้งของแม่น้ำสายต่างๆ

อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกที่เพิ่มสูงขึ้นจากภาวะโลกร้อน นอกจากจะส่งผลให้น้ำในทะเลสาบและแม่น้ำสายต่างๆ ระเหยมากขึ้นแล้ว ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาน้อยในพื้นที่บางแห่ง ก็มีส่วนร่วมต่อการทำให้แหล่งน้ำต่างๆ มีปริมาณลดลงและเหือดแห้ง จนถึงขั้นทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำในพื้นที่บางแห่งได้ ที่ได้รับความเสียหายอย่างหนักมีดังเช่น ประเทศสเปนและโปรตุเกสต้องเผชิญกับความแห้งแล้งอย่างหนัก จนทำให้แม่น้ำหลายสายเกือบแห้งเหือดในช่วงครึ่งแรกของปี พ.ศ. 2560

4.7 ความหลากหลายทางชีวภาพลดน้อยลง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้น และการละลายตัวของน้ำแข็งทั่วโลก ต่างเข้ามาสร้างความเสียหายให้สมดุลทางธรรมชาติของระบบนิเวศถูกทำลายลง จนทำให้ช่วงที่ผ่านมามีพืชและสัตว์นานาชนิด ที่ไม่สามารถปรับตัวได้ลดจำนวนลงและสูญพันธุ์ไปแล้วหลายสกุล

ที่สำคัญยิ่งคืออุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นของน้ำทะเล ได้นำพาความเสียหายให้กับแหล่งปะการังตามที่ต่างๆ ซึ่งในปี พ.ศ. 2559 ที่ผ่านมา แหล่งปะการังเกรตแบร์ริเออร์รีฟในประเทศออสเตรเลีย ซึ่งขึ้นชื่อว่าเป็นระบบนิเวศที่สมบูรณ์ที่สุดในโลก ได้เกิดปรากฏการณ์ปะการังฟอกขาวเพิ่มขึ้นถึงเกือบ 5 เท่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2523 จนปะการังต้องตายไปแบบหมดโอกาสฟื้นถึงกว่าร้อยละ 30 (สืบค้นเมื่อ 3 พ.ย. 2561, จาก http://www.saveoursea. net/forums/showthread.php?t=4314)

5. ปัญหาที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

แน่นอนว่าความเสื่อมทรุดของธรรมชาติสิ่งแวดล้อมดังกล่าวข้างต้น ย่อมส่งผลกระทบให้มนุษย์ต้องมีคุณภาพชีวิตที่ถดถอยลง เหตุเพราะต้องเผชิญกับปัญหาที่ตามมาหลายๆ ด้าน ดังเช่น

5.1 ปัญหาความมั่นคงทางอาหาร

สภาพอากาศที่ร้อนขึ้น ทะเลทรายขยายตัว ความเหือดแห้งของแม่น้ำสายต่างๆ น้ำทะเลที่อุ่นขึ้น ระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงจนไหลท่วมเข้ามายังพื้นที่การเกษตร การแพร่ระบาดของแมลงศัตรูพืช และภัยพิบัติต่างๆ ซึ่งมีต้นเหตุหลักมาจากภาวะโลกร้อน ล้วนมีอิทธิพลก่อให้เกิดปัญหาความมั่นคงทางอาหารตามมาได้ทั้งสิ้น เนื่องจากสามารถเข้ามามีอิทธิพลทำให้ปริมาณการผลิตอาหาร ทั้งจากภาคการเกษตร การประมง และการปศุสัตว์มีน้อยลง

5.2 ปัญหาการลี้ภัยเนื่องจากสิ่งแวดล้อม

ความเหือดแห้งของแม่น้ำสาย ต่างๆ ทะเลทรายขยายตัว การเกิดภัยพิบัติที่รุนแรง ตลอดจนน้ำทะเลที่เพิ่มสูงล้วนส่งผลกระทบก่อให้เกิดปัญหาการลี้ภัยเนื่องจากสิ่งแวดล้อมได้ทั้งสิ้น

มีการคาดการณ์จากนักวิทยาศาสตร์ว่า หากระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1 เมตร ประเทศที่เป็นเกาะเล็กๆ และเมืองนับร้อยตามชายฝั่งพื้นที่ต่ำ ซึ่งได้แก่ รัฐฟลอริดาของประเทศสหรัฐอเมริกา เนเธอร์แลนด์ นครปักกิ่ง นครเซี่ยงไฮ้ และบังกลาเทศ จะถูกน้ำทะเลรุกท่วมผืนแผ่นดินไปอย่างถาวร (มนนภา, 2550; 102) ซึ่งระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นเพียง 1 เมตรนั้น สามารถส่งผลอันตรายให้ประชาชนในบังคลาเทศเพียงประเทศเดียวไร้ที่อยู่อาศัยได้ถึงหลายสิบล้านคน (สืบค้นเมื่อ 1 พ.ย. 2561, จาก http://www.greenpeace.org/ seasia/th/campaigns/climate-and-energy/impacts/global-melting/)

5.3 ปัญหาสุขภาพอนามัยเสื่อมโทรม

สภาพอากาศที่ร้อนขึ้น มีโอกาสเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพอนามัยเสื่อมโทรม ทั้งจาก

- การขาดแคลนอาหารและน้ำดื่ม เนื่องจากผลผลิตที่ทางการเกษตรลดลงและการขาดแคลนแหล่งน้ำ
- การเกิดโรคภัยไข้เจ็บจากโรคติดต่อชนิดต่างๆ (เช่นโรคมาลาเรีย ไข้ส่า และโรคสมองอักเสบ) โรคที่มาจากแหล่งน้ำ (เช่น โรคบิด ท้องร่วง อหิวาห์ตกโรค) โรคระบบทางเดินหายใจ (เช่น โรคหืด หอบ และภูมิแพ้)

แน่นอนว่า ผลกระทบจากภาวะโลกร้อนดังกล่าว ย่อมเข้ามาสร้างปัญหาให้กับนานาประเทศทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม โดยเฉพาะกับกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนาของทวีปแอฟริกา เอเชีย และมหาสมุทรแปซิฟิก เนื่องจากเป็นกลุ่มประเทศที่มีศักยภาพในการป้องกันตนเองน้อยที่สุด เพราะขาดแคลนทั้งทรัพยากรบุคคลที่มีความรู้ ทุนทรัพย์ และเทคโนโลยีในการรับมือกับผลกระทบจากภาวะโลกร้อน

6. แนวทางการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน

พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) คือมาตรการทางกฎหมายว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกขององค์การสหประชาชาติ ที่ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของความพยายามแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนในระดับนานาชาติ ที่กำหนดให้ประเทศพัฒนาแล้ว ดำเนินการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่บรรยากาศ ให้ได้โดยเฉลี่ยรวมกันแล้วไม่น้อยกว่าร้อยละ 5.2 เมื่อเทียบจากระดับการปล่อยในปี พ.ศ. 2533 ซึ่งได้มีผลบังคับใช้ตั้งแต่เมื่อปี พ.ศ. 2548- 2555 และได้รับการขยายเวลาโดยจะหมดอายุลงอีกครั้งในปี พ.ศ. 2563 (สืบค้นเมื่อ 1 พ.ย. 2561, จาก https://th.wikipedia.org/wiki)

อีกทั้ง ยังมีการเพิ่มความเข้มงวดด้วย “ความตกลงปารีส” ซึ่งระบุเป้าหมายจำกัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกไม่ให้เพิ่มสูงเกิน 2 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบจากยุคก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม โดยคงการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ให้สูงเกินกว่า 450 ppm ให้ได้ภายในครึ่งหลังของศตวรรษนี้ (สืบค้นเมื่อ 3 พ.ย. 2561, จาก https://mgronline.com/science/detail/9600000046968) เพราะไม่เช่นนั้นแล้วระบบนิเวศโลกอาจถึงคราวล่มสลายได้

อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนก็ยังคงดำเนินไปอย่างล่าช้าและยังไม่สัมฤทธิ์ผล ซึ่งเห็นได้ชัดจากปริมาณการสะสมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ยังคงเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นั่นเพราะการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในทุกวันนี้ยังตั้งวางอยู่บนฐานของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทางองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ยังได้ออกมายืนยันด้วยว่า อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกได้เพิ่มสูงขึ้นจากยุคก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมถึงกว่า 1.1 องศาเซลเซียสแล้ว (สืบค้นเมื่อ 7 พ.ย. 2561, จาก https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2017-among-three-warmest-years-record)

นั่นหมายความว่า หากยังคงปล่อยให้สถานการณ์เช่นนี้ดำเนินไป อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกอาจเพิ่มสูงจนถึงจุดพลิกผันที่ 2 องศาเซลเซียสได้ ดังนั้นจึงจำเป็นยิ่งที่จะต้องร่วมกันแก้ปัญหานี้อย่างจริงจังและเร่งด่วน โดยการจำกัดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการที่จะแก้ปัญหานี้โดยไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระบบความมั่นคงทางเศรษฐกิจนั้น จำเป็นต้องอาศัยความสมดุลระหว่างการพัฒนากับสิ่งแวดล้อม ด้วยการปรับเปลี่ยนวิถีทางการพัฒนาให้เศรษฐกิจโลกเคลื่อนตัวสู่สังคมคาร์บอนต่ำ เพื่อพึ่งพิงพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลให้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถดำเนินการได้บน 3 แนวทางหลัก ดังนี้

1) การลดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ

โดยลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ การส่งเสริมและพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การลดการดำเนินกิจกรรมที่ใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล การอนุรักษ์พลังงานทั้งการนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วกลับมาผลิตใหม่ (Recycle) ลดการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่เกินความจำเป็น (Reduce) การนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วที่มีประสิทธิภาพดีมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Reuse) และการซ่อมแซมเครื่องใช้ที่สึกหรอให้ใช้ประโยชน์ได้ (Repair)

2) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ

โดยการกักเก็บไว้ในแหล่งดูดซับคาร์บอน ซึ่งได้แก่ ต้นไม้ ดิน และมหาสมุทร ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การปลูกป่าเพิ่มเติม การไถพรวนเชิงอนุรักษ์ และการทำฟาร์ในมหาสมุทร (เล็ก มอญเจริญ, 2550: 44-45, 48)

3) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิต

ด้วยการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของสารประกอบชนิดอื่น ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การใช้จุลสาหร่าย (กษิดิศ หนูทอง และประเสริฐ ภวสันต์, 2551: 22-36) และ/หรือด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น การเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของแข็งคาร์บอเนตหรือไบคาร์บอเนตซึ่งมีความคงทนมากกว่า (วรากรณ์ สามโกเศศ, 2546: 58)

รวมถึงการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากแหล่งผลิต (CO_2 Capture and Storage: CCS) มาอัดฝังเก็บไว้ใต้พื้นดินระดับลึก เช่น แหล่งน้ำมัน ซึ่งต้องคำนึงถึงระยะเวลาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะแหล่งกักเก็บนั้นสามารถเกิดการรั่วร้าวตามมาได้ หากมีภัยพิบัติทางธรรมชาติเกิดขึ้น

สำหรับประเทศไทยซึ่งมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อ้างอิงจากรายงานความก้าวหน้าราย 2 ปี ฉบับที่1 ของประเทศไทย ที่รายงานต่อ UNFCCC ในเดือนธันวาคม พ.ศ.2558 อยู่ที่ประมาณ 305.52 MtCO2e (ล้านตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) นั้น ได้เริ่มมีการบูรณาการนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแผนพัฒนาสังคมเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติของประเทศไทย ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 แสดงวิวัฒนาการในการบูรณาการนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแผนพัฒนาสังคมเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติของประเทศไทย

(ที่มา: http://actionforclimate.deqp.go.th/?p=6541มาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกบริบทโลก)

7. สรุป

สาเหตุสำคัญของภาวะโลกร้อน มาจากภายในชั้นบรรยากาศมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ถูกปล่อยออกมาจากผลพัฒนาเศรษฐกิจอุตสาหกรรม บนฐานพลังงานของเชื้อเพลิงฟอสซิล นับตั้งแต่ที่สังคมโลกก้าวเข้าสู่ยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจุบันมีระดับความเข้มข้นเกินค่าความปลอดภัยแล้ว โดยผลกระทบที่ตามมานั้นได้สร้างความเสียหายให้กับธรรมชาติสิ่งแวดล้อม และส่งผลเชื่อมโยงมาสร้างปัญหาให้กับสังคมมนุษย์อีกด้วย สำหรับการแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ จะประสบผลสำเร็จได้มากน้อยเพียงใด และทุกชีวิตจะมีโอกาสรอดพ้นจากหายนภัยต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นตามมาหรือไม่ อันนี้ต้องถือเป็นหนึ่งในปัญหาที่ท้าทายสำหรับโลกในศตวรรษที่ 21

8. ข้อเสนอแนะ

ควรใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในภาคการผลิตและภาคการบริโภค พร้อมกับส่งเสริมและพัฒนาการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งไม่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นต้นเหตุหลักของภาวะโลกร้อน และร่วมกันกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิต และที่สะสมตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศ

9. เอกสารอ้างอิง

กษิดิศ หนูทอง และประเสริฐ ภวสันต์, 2551. “ทางเลือกในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งผลิตเพื่อบรรเทาภาวะโลกร้อน.” **วารสารสิ่งแวดล้อม** ปีที่ 12 ฉบับที่ 1: 22-36.

ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, 2550. **โลกร้อนสุดขั้ว วิกฤติอนาคตประเทศไทย.** กรุงเทพมหานคร: ฐานบุคส์

"น้ำแข็งทั่วโลกละลาย" สืบค้นเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2561, จาก http://www.greenpeace.org/seasia/th/campaigns/ climate-and-energy/impacts/global-melting/

"นักวิทย์ฯ ห่วงปลาดาวระบาดกินปะการังเกรตแบร์ริเออร์รีฟ" สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2561, จาก http://www.saveoursea.net/forums/showthread.php?t=4314

"พิธีสารเกียวโต" สืบค้นเมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน 2561, จาก https://th.wikipedia.org/wiki

มนนภา เทพสุด. 2550. "ความล่มสลาย... ที่มนุษย์สร้างขึ้นมาจากภาวะโลกร้อน." **วารสารวิทยาศาสตร์น้ำ** ปีที่ 62, ฉบับที่ 2: 100-105.

เล็ก มอญเจริญ, 2550. "มาตรา 3.4 (additional Human Induce) ในพิธีสารเกียวโตกับการเก็บกักอินทรีย์คาร์บอนในดิน เพื่อบรรเทาปัญหาโลกร้อน." **วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ** ปีที่ 22, ฉบับที่ 2: 44-51.

วรากรณ์ สามโกเศศ. 2546. "เก็บ CO_2 ไม่ให้เป็นก๊าซเรือนกระจก." **นิตยสารโลกสีเขียว** ปีที่ 12 ฉบับที่ 4: 58.

สุรินทร์ เหล่าสุขสถิตย์, 2551. "ภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อนคืออะไร...?." **วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา** ปีที่ 20 ฉบับที่ 65: 22-28.

"5 เรื่อง "โลกร้อน" ไม่ควรลืม" สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2561, จาก https://mgronline.com/science/detail/9600000046968

"Arctic sea ice set to hit new low" สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561, จาก http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6944401.stm

"Arctic winter sea ice extent 2nd lowest" สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561, จาก https://earthsky.org/earth/2018-arctic-winter-sea-ice-extent-2nd-lowest

"Britain's Defence and the Arctic: A Timely Reminder" สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน 2561, จาก https://rusi.org/commentary/britains-defence-and-arctic-timely-reminder

"Earth System Research Laboratory Global Monitoring Division." สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤศจิกายน 2561, จาก https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/

"Global Climate Report - Annual 2017" สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน 2561, จาก https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201713

"Global CO_2 Concentrations Just Passes 400 Parts per Million." สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561, จาก http://400.350.org/

"Relative Contribution to Global Warming." สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561 จาก http://earthguide.ucsd.edu/virtualmuseum/images/RelativeContributionOfGlobalWarming.html

"Rising Global Temperatures and CO_2" สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561 จาก http://www.climatecentral.org/gallery/graphics/co2-and-rising-global-temperatures

"WMO confirms 2017 among the three warmest years on record" สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน 2561, จาก https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2017-among-three-warmest-years-record

การจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อชุมชนยั่งยืน

Energy Management Based on the Philosophy of Sufficiency Economy for the Sustainable Community

วิชชุดา สุภาพวานิช

Email : witchuda2@gmail.com

โครงการบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โสวัตรี ณ ถลาง

ภาควิชาสังคมวิทยาและมานุษยวิทยา คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : fsocstn@ku.ac.th

วิพักตร์ จินตนา

ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : fforvij@ku.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ 1) ศึกษาระดับความตระหนักของชุมชนในการจัดการพลังงาน 2) ศึกษาการจัดการพลังงาน ปัญหาอุปสรรค และการสนับสนุนของภาครัฐ 3) เสนอแนวทางการจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อความยั่งยืนของชุมชน ใช้วิธีวิจัยแบบผสมผสานระหว่างวิธีวิจัยเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ โดยวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ การตรวจเอกสาร การสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่าง 30 รายในชุมชนและสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานในชุมชน 9 ราย โดยใช้แบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์กึ่งโครงสร้าง ผลการศึกษาพบว่าชุมชนให้ความสำคัญกับการจัดการทรัพยากรธรรมชาติเป็นอันดับแรกโดยกำหนดระเบียบการตัดต้นไม้ และรักษาป่าเพื่อเป็นต้นกำเนิดของแหล่งน้ำนำไปผลิตไฟฟ้าใช้ในชุมชนจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากที่ร่วมสร้างระหว่างชุมชนและสำนักนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) จำนวน 2 โรง บริหารโดยสหกรณ์ไฟฟ้าโครงการหลวงแม่กำปอง โรงไฟฟ้าพลังน้ำ 2 โรงหยุดการผลิตเนื่องจากโรงแรก อุปกรณ์ต่างๆ ชำรุด มีอายุใช้งานกว่า 30 ปี โรงที่สองเนื่องจากอุปกรณ์ที่รัฐมอบให้ไม่สามารถดำเนินการผลิตเพื่อขายไฟได้ ซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องการโอนสินทรัพย์ที่เป็นของรัฐ และการทำนิติกรรมต้องดำเนินการผ่านองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) สหกรณ์ฯ จึงไม่สามารถดำเนินการขายไฟฟ้าให้กับภาครัฐโดยใช้สิ่งปลูกสร้างที่ภาครัฐช่วยเหลือได้โดยตรง (ณัฐพงศ์ พื้นแสน, 2554) อย่างไรก็ดีชุมชนเห็นความสำคัญของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจึงได้เสนอเรื่องขอให้ สนพ. ปรับปรุงโรงแรกเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในชุมชน สำหรับโรงสองสามารถดำเนินการได้ หากข้อจำกัดดังกล่าวได้รับการแก้ไขและกำหนดนโยบายสนับสนุนโครงการวางแผนจัดการพลังงานระดับท้องถิ่นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ชุมชนขายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้า และเป็นต้นแบบให้กับชุมชนต่างๆ โดยภาครัฐเป็น

ผู้สนับสนุน ซึ่งสามารถสร้างระบบไฟฟ้าในประเทศให้มั่นคง อันเป็นประโยชน์ต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของชุมชนต่างๆ และประเทศโดยรวม

คำสำคัญ: การจัดการพลังงาน ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ชุมชนยั่งยืน

ABSTRACT

The purposes of the research include 1) to study the level of the community's awareness toward the energy management. 2) to study the energy management including the problems and hindrances of the electricity generation and the government sector's support 3) to propose the way to support the energy management based on the Philosophy of Sufficiency Economy for the sustainable community. This research employed the Mixed Methods Research. The samples were 39 persons in Mae Kampong village composed of 30 persons for Quantitative method and 9 persons for Qualitative method by using Questionnaires and Semi-Structural Questionnaires respectively. Research findings revealed that natural management was the first priority, which Mae Kampong committee set the rules of cutting wood. As it was the most essential for preserving the forests and headwaters to keep the amount of water to generate the electricity to their households. The two Micro-Hydro power plants were built by both EPPO and the villagers governed by Mae Kampong cooperative (Co-opt). However, they have already stopped generating the electricity. As for the first power plant, the equipments and transmission lines were too old to generate the electricity. Fortunately, EPPO will allocate the budgets for the improvement of the generation and distribution system in 2019 requested by the co-opt. As for the second power plant, it will depend on the government policy. If the Local Energy Plan (LEP) is still active and beneficial, the law should be corrected for allowing the community to be able to generate and sell the electricity to the national grid. Certainly, it will be beneficial to economics, society and environment.

KEYWORDS: Energy Management, The Philosophy of Sufficiency Economy, Sustainable Community

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปี พ.ศ. 2549 สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) ได้ดำเนินโครงการวางแผนจัดการพลังงานระดับท้องถิ่น (Local Energy Plan: LEP) ขึ้น มีเป้าหมายเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของประเทศและพัฒนาพลังงานอย่างสมดุล ซึ่งแผน LEP ช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และสนองแนวพระราชดำริ "เศรษฐกิจพอเพียง"เพื่อชุมชนพึ่งตนเองได้อย่างยั่งยืนของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชบรมนาถบพิตร (ทศพนธ์ นรทัศน์, 2551) และจากการวิจัย "การประเมินศักยภาพของพลังน้ำขนาดเล็กในประเทศ" โดย ชัยยุทธ ชินณะราศี (2553) พบว่าแหล่งน้ำขนาดเล็กหลายแห่งมีศักยภาพผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ได้ ซึ่งหมู่บ้านแม่กำปอง อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่เป็นตัวอย่างของการสนับสนุนจากภาครัฐ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำแม่กำปองมีจำนวน 2 โรง สร้างร่วมกับ สนพ. บริหารโดยสหกรณ์ฯ โรงแรกผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 โรงที่สองผลิตไฟฟ้า ปี พ.ศ. 2537 และภายหลังได้ทดลองเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าเข้ากับการไฟฟ้าได้สำเร็จ (กระทรวงพลังงาน, 2561) ปี พ.ศ. 2551 สหกรณ์ฯ ขายไฟฟ้ากลับเข้าระบบเครือข่ายสายส่งของประเทศ ซึ่งเป็นการดำเนินงานรูปแบบภาคีความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชน แต่มีข้อจำกัดเรื่องการโอนสินทรัพย์ที่เป็นของรัฐ เนื่องจากการทำนิติกรรมต้องดำเนินการผ่าน อบต. สหกรณ์ฯ จึงไม่สามารถขายไฟฟ้าให้กับภาครัฐโดยใช้สิ่งปลูกสร้างที่ภาครัฐช่วยเหลือได้โดยตรง (ณัฐพงศ์ พื้นแสน, 2554) ซึ่งในปัจจุบันโรงไฟฟ้าทั้งสองแห่งได้หยุดการผลิตไฟฟ้าแล้ว เนื่องจากโรงแรกมีอายุการใช้งานมากกว่า 30 ปี และสหกรณ์ยังขาดงบประมาณจำนวนมากในการปรับปรุงระบบผลิตและระบบจำหน่ายรวมทั้งสายส่ง สำหรับโรงที่สองสหกรณ์ฯ จะดำเนินการขายไฟฟ้าได้ต้องขึ้นอยู่กับนโยบายภาครัฐที่จะแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว

และเนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากของชุมชนแม่กำปอง ดำเนินการภายใต้โครงการไฟฟ้าพลังน้ำระดับหมู่บ้านเป็นแห่งแรก ซึ่ง สนพ. ได้ความร่วมมือจากชาวบ้านด้านแรงงานและการจัดหาวัสดุเพื่อทำการก่อสร้างฝายกั้นน้ำ การต่อท่อส่งน้ำเข้าเครื่องปั่นไฟ ตั้งเสาไฟฟ้า เดินสายไฟ และต่อสายไฟฟ้าเข้ามิเตอร์ของแต่ละบ้าน และภายหลังสร้างเสร็จ สนพ. ได้ถ่ายทอดความรู้ในการควบคุมดูแล และบำรุงรักษาระบบกำเนิดไฟฟ้าและมอบให้ชาวบ้านดูแล (กระทรวงพลังงาน, 2561) ซึ่งจะเห็นถึงความเข้มแข็งของชุมชนแม่กำปองที่สามารถดูแลโรงไฟฟ้าให้ผลิตไฟฟ้าใช้ภายในหมู่บ้านได้ถึงกว่า 30 ปี อย่างไรก็ดีสิ่งที่ชุมชนต้องเรียนรู้เพิ่มเติมคือการจัดทำแผนพลังงานชุมชนเพื่อให้สามารถบริหารจัดการพลังงานเองได้ และโครงการวางแผนจัดการพลังงานระดับท้องถิ่น ตามแนว “ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง” จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อชุมชน เพื่อให้ชุมชนพึ่งพาตนเองด้านพลังงานได้อย่างยั่งยืน

การศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อนำเสนอผลการวิจัยต่อหน่วยงานภาครัฐ เพื่อให้การสนับสนุนโครงการดังกล่าวดำเนินอย่างต่อเนื่องต่อไป เป็นต้นแบบให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน เพิ่มประสิทธิภาพการพัฒนาและการใช้พลังงานของประเทศควบคู่ไปกับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งเป็นความร่วมมือระหว่างภาครัฐและประชาชน ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ

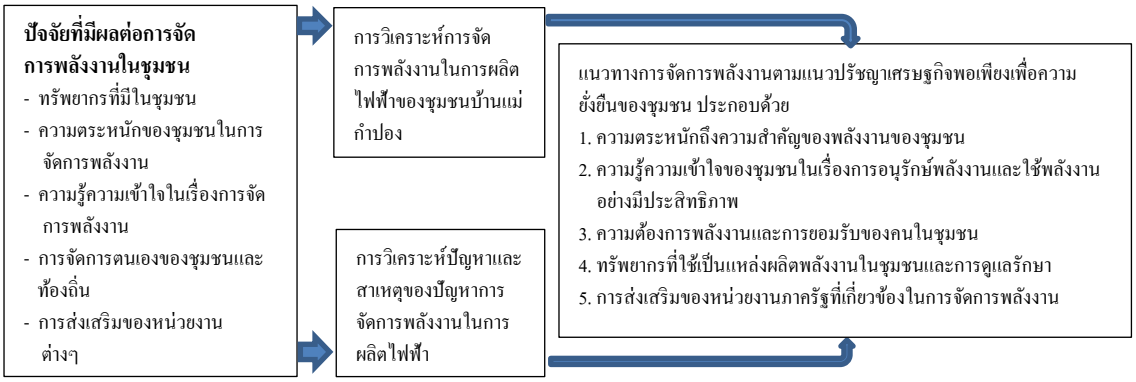
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับความตระหนักของชุมชนในการจัดการพลังงาน
2. เพื่อศึกษาการจัดการพลังงาน ปัญหาและอุปสรรคในการผลิตไฟฟ้า และการสนับสนุนของภาครัฐ
3. เพื่อเสนอแนวทางการจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อความยั่งยืนของชุมชน

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชบรมนาถบพิตร (2554) ตลอดจนสังเคราะห์งานวิจัยของ วิสาขา ภู่จินดา (2555) เกี่ยวกับปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง และงานวิจัยของ ปวริศร เลิศธรรมเทวี และ อัจฉรา ชินนิยมพาณิชย์ (2560) เกี่ยวกับการจัดการพลังงาน และแนวคิดของโกวิทย์ พวงงาม (2553) เรื่องการจัดการตนเองของชุมชนและท้องถิ่นมาเป็นกรอบในการวิจัย ซึ่งได้กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงานในชุมชน ได้แก่ ทรัพยากรที่มีในชุมชน ความรู้ความเข้าใจในเรื่องการจัดการพลังงาน เป็น

ต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์การจัดการพลังงานในการผลิตไฟฟ้า ปัญหาการจัดการพลังงาน เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อความยั่งยืนของชุมชน ดังนี้



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดแนวทางการจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อความยั่งยืนของชุมชน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

การวิจัยใช้รูปแบบวิธีวิจัยเชิงปริมาณและวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ เก็บข้อมูลด้วยวิธีการสัมภาษณ์และใช้แบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์เป็นเครื่องมือในการวิจัย วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนาได้แก่ค่าสถิติร้อยละ และนำเสนอรายงานในรูปแบบของค่าตัวเลขและเชิงพรรณนา

4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่เป็นหน่วยในการวิเคราะห์ ประชากรกลุ่มหลัก ได้แก่ ประชาชนทั่วไปในชุมชน ผู้นำทางความคิด ผู้ใหญ่บ้าน ประธานสหกรณ์ไฟฟ้าฯ และคณะกรรมการสหกรณ์ฯ เจ้าหน้าที่ อบต. สนพ.ประจำจังหวัด และเจ้าหน้าที่การไฟฟ้า โดยการกำหนดกรอบประชากรเพื่อคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง (กมลพิพัฒน์ ชนะสิทธิ์ และประสพชัย พสุนนท์ 2561, 147-158) ดังนี้

การวิจัยเชิงปริมาณ ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 ราย ประกอบด้วยประชาชนทั่วไปในชุมชน ผู้นำทางความคิด ผู้ใหญ่บ้าน ประธานสหกรณ์ฯ และคณะกรรมการสหกรณ์ฯ สุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี Snowball

การวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อให้ได้รายละเอียดข้อมูลประกอบการวิจัยโดยใช้แบบสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างจำนวน 9 ราย ประกอบด้วยผู้ให้ข้อมูลหลักและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้แก่ ผู้นำทางความคิด ผู้ใหญ่บ้าน ประธานสหกรณ์ฯ และคณะกรรมการสหกรณ์ฯ เจ้าหน้าที่ อบต. สนพ. และเจ้าหน้าที่การไฟฟ้า ใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบเฉพาะเจาะจง

4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรต้น คือ ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการพลังงานในชุมชน ได้แก่ ทรัพยากรที่มีในชุมชน ความตระหนักของชุมชนในการจัดการพลังงาน ความรู้ความเข้าใจในการจัดการพลังงาน การจัดการตนเองของชุมชนและท้องถิ่น และการส่งเสริมของหน่วยงานต่าง ๆ

2. ตัวแปรตาม คือการจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อความยั่งยืนของชุมชน ประกอบด้วย ความตระหนักถึงความสำคัญของพลังงานของชุมชน ความรู้ความเข้าใจของชุมชนในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ความต้องการพลังงานและการยอมรับของคนในชุมชน ทรัพยากรที่ใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานในชุมชนและการดูแลรักษา รวมทั้งการส่งเสริมของหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องในการจัดการพลังงาน

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและขั้นตอนการสร้างเครื่องมือหรือแบบสอบถาม และแบบสัมภาษณ์เชิงลึกที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลมีการดำเนินการสร้างตามลำดับ ดังนี้

1) การวิจัยเชิงปริมาณ ศึกษาเอกสารงานวิจัย ทฤษฎี และเอกสารเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง เพื่อสร้างแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ

<u>ส่วนที่ 1</u> คำถามเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปทางประชากรศาสตร์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

<u>ส่วนที่ 2</u> คำถามเกี่ยวกับข้อมูลความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน

<u>ส่วนที่ 3</u> คำถามเกี่ยวกับข้อมูลระดับความตระหนักถึงปัญหาพลังงาน

<u>ส่วนที่ 4</u> คำถามเกี่ยวกับระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการพลังงานภายในชุมชน

<u>ส่วนที่ 5</u> คำถามเกี่ยวกับความเห็นในเรื่องความสอดคล้องของการจัดการพลังงานกับชุมชน

<u>ส่วนที่ 6</u> คำถามเกี่ยวกับความคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการจัดการพลังน้ำขนาดเล็กมากภายในชุมชน

ส่วนที่ 3, 4, 5 และ 6 ใช้มาตรวัดแบบ Likert Scale (WordPress, 2018) โดยการให้คะแนนแบ่งตามมาตรวัด ดังนี้

ระดับของการเห็นด้วยมากที่สุด	ให้	5	คะแนน
ระดับของการเห็นด้วยมาก	ให้	4	คะแนน
ระดับของการเห็นด้วยปานกลาง	ให้	3	คะแนน
ระดับของการเห็นด้วยน้อย	ให้	2	คะแนน
ระดับการเห็นด้วยน้อยที่สุด	ให้	1	คะแนน

การอภิปรายผลการวิจัยของลักษณะแบบสอบถามที่ใช้นี้ ผู้วิจัยใช้เกณฑ์เฉลี่ยในการอภิปรายผล 5 ระดับ ดังนี้ (ศิริวรรณ เสรีรัตน์, 2540)

$$\text{ความกว้างของอันตรภาคชั้น} = \frac{\text{ข้อมูลที่มีค่าสูงสุด} - \text{ข้อมูลที่มีค่าต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} = \frac{5-1}{5} = 0.8$$

2) การวิจัยเชิงคุณภาพ ใช้วิธีการค้นหาองค์ความรู้ดังกล่าว ค้นหาความรู้จากผู้รู้ หลักฐานด้านเอกสาร หรือข้อมูลปฐมภูมิของชุมชน ตามหลักการของวิธีการวิจัยเชิงคุณภาพที่เป็นขั้นตอนการค้นหาความรู้ที่เป็นความรู้เชิงประจักษ์ โดยเริ่มจากขั้นตอนเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางกายภาพ วิถีชีวิตชุมชน ทรัพยากรธรรมชาติและจากปรากฏการณ์ที่ไปลงพื้นที่เพื่อศึกษา สำรวจปรากฏการณ์และสังเกตโดยรอบ และพบเห็นสิ่งต่างๆ จากภาคสนาม การสัมภาษณ์เชิงลึก การประชุมกลุ่มกับผู้นำทางความคิด ผู้ใหญ่บ้าน ประธานสหกรณ์ไฟฟ้าและคณะกรรมการสหกรณ์ฯ เพื่อนำความรู้มารวบรวมประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลแบบพรรณนาเชิงวิเคราะห์ และใช้เทคนิค Swot Analysis วิเคราะห์ถึงวิธีการจัดการพลังงานภายในชุมชน ปัญหาอุปสรรคและการสนับสนุนของภาครัฐ รวมทั้งค้นหาแนวทางการจัดการพลังงาน ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) การวิจัยเชิงปริมาณ ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล จากจำนวนกลุ่มตัวอย่าง เมื่อรวบรวมแบบสอบถามตามความต้องการแล้ว นำมาตรวจสอบความถูกต้องและสมบูรณ์ของแบบสอบถาม ทำการลงรหัสแล้วนำข้อมูลมาบันทึกลงเครื่องคอมพิวเตอร์

2) การวิจัยเชิงคุณภาพ โดยการสัมภาษณ์เชิงลึก จากกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด และนำมาแยกประเด็นของข้อมูล รวบรวมแล้วนำเสนอด้วยวิธีการบรรยาย

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สองส่วนนำมาวิเคราะห์เนื้อหาและสรุปเป็นคำตอบวัตถุประสงค์การวิจัย

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ดังนี้

1) การวิจัยเชิงปริมาณ ค่าสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) สำหรับการวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา และวิเคราะห์ความคิดเห็น และข้อเสนอแนะ โดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหา โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณสถิติค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ รวบรวมและนำเสนอด้วยการบรรยาย

2) การวิจัยเชิงคุณภาพ เป็นแบบสัมภาษณ์เชิงลึก โดยใช้คำถามปลายเปิด ใช้วิธีรวบรวมข้อมูลในการวิเคราะห์ นำมาทำการแยกประเด็นของข้อมูล หาข้อสรุปในประเด็นสำคัญตามวัตถุประสงค์ รวบรวมแล้วนำเสนอด้วยวิธีการบรรยาย

5. ผลการวิจัย

ผลการวิจัยที่ได้จากการเก็บแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างในชุมชนแม่กำปอง มีดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

จากการสำรวจ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 60.00 ประกอบอาชีพหลักคือเกษตรกรรม กลุ่มตัวอย่างที่รับราชการมีน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 3.3 และกลุ่มตัวอย่างมีรายได้เฉลี่ยต่อเดือนน้อยที่สุด 3,000.-บาท มากที่สุด 15,000.- บาท พบว่าทุกครัวเรือนสามารถเข้าถึงพลังงานได้ โดยเลือกใช้พลังงานจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำซึ่งมีราคาถูกเนื่องจากผลิตเองหรือจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีระบบไฟฟ้าที่มีความมั่นคง ไฟฟ้าไม่ตกไม่ดับบ่อย

ส่วนที่ 2 ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องพลังงานและการอนุรักษ์พลังงาน

จากการสำรวจ พบว่า กลุ่มตัวอย่างทั้งหมดมีความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่องพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ความต้องการพลังงานในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 100.0 สำหรับด้านอนุรักษ์ประหยัดพลังงาน เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความเข้าใจเป็นอย่างดีในเรื่องวิธีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างประหยัด คิดเป็นร้อยละ 100.0

ส่วนที่ 3 ระดับความตระหนักถึงปัญหาพลังงาน

ผลการศึกษาความตระหนักถึงปัญหาพลังงาน พบว่าโดยรวมมีระดับความตระหนักปานกลางค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.14 และมีค่า S.D. เท่ากับ 0.48 เมื่อพิจารณาเป็นรายข้อ พบว่า ปัญหาพลังงานที่ขาดแคลนกลุ่มตัวอย่างมองว่าเป็นปัญหาของคนทั้งชุมชน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด 4.43 ส่วนความขาดแคลนพลังงานที่แก้ไขได้ด้วยบุคคลที่มีอำนาจในชุมชนเพียงกลุ่มเดียวมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 1.73

ส่วนที่ 4 ระดับการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการพลังงานกับชุมชน

ผลการศึกษาการมีส่วนร่วมของประชาชนในการจัดการพลังงาน พบว่า โดยรวมมีระดับการมีส่วนร่วมมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.93 และมีค่า S.D. เท่ากับ 0.83 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่า การร่วมค้นหาปัญหาและสาเหตุของปัญหาพลังงานในชุมชน มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.01 สำหรับการติดตามประเมินผลการดำเนินงานจัดการพลังงานในชุมชน มีน้อยที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.83

ส่วนที่ 5 ความสอดคล้องของการจัดการพลังงานกับชุมชน

ผลการศึกษาความสอดคล้องของการจัดการพลังงานกับชุมชน พบว่าโดยรวมมีความสอดคล้องระดับปานกลาง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.37 และมีค่า S.D. เท่ากับ 0.34 เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่าด้านศักยภาพพื้นที่และชุมชนมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 3.84 กลุ่มตัวอย่างเห็นว่าการใช้พลังน้ำผลิตไฟฟ้าในชุมชนมีความเหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ มลภาวะน้อยลง ในด้านการประกอบอาชีพของชุมชน มีค่าเฉลี่ยรองลงมาคือค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.09 กลุ่มตัวอย่างเห็นว่าคนในชุมชนสามารถทำงานได้ปริมาณมากขึ้น และการผลิตไฟฟ้าจากพลังน้ำทำให้คนมีอาชีพเพิ่มมากขึ้น

ส่วนที่ 6 ความคิดเห็นในการจัดการพลังน้ำขนาดเล็กมากภายในชุมชน

ผลการศึกษาความคิดเห็นในการจัดการพลังน้ำขนาดเล็กมากภายในชุมชน พบว่า โดยรวมเห็นด้วยมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.21 และค่า S.D. เท่ากับ 0.26 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าทุนด้านทรัพยากรธรรมชาติ มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดเท่ากับ 4.62 กลุ่มตัวอย่างมองว่าความสมบูรณ์ของป่าและขนาดพื้นที่ป่ามีความอุดมสมบูรณ์และมีเพียงพอ ชุมชนมีสิทธิเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ อีกทั้งพื้นที่มีความเหมาะสมในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีน้ำตลอดทั้งปี ส่วนทุนด้านสังคมและการบริหารจัดการมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 3.79 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าชุมชนให้ความร่วมมือและทุกคนมีโอกาสในการบริหารชุมชน มีการร่วมทำกิจกรรม มีโอกาสรับการศึกษาที่ดีมีคุณภาพ มีการร่วมกันตั้งกลุ่มต่างๆ ได้แก่กลุ่มท่องเที่ยว เป็นต้น ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มเพื่อชุมชนเข้มแข็ง นอกจากนี้คนในชุมชนมีความสัมพันธ์กันเป็นเครือญาติจึงมีความช่วยเหลือกัน

ในส่วนของการสรุปผลวิจัยจากการสัมภาษณ์ พบว่าสหกรณ์ให้ความสำคัญเรื่องการจัดการพลังน้ำโดยกำหนดให้มีระเบียบควบคุมการอนุรักษ์ป่าไม้และสิ่งแวดล้อมเพื่อรักษาป่า ต้นน้ำให้สมบูรณ์เป็นลำดับแรกและทุกคนมีส่วนร่วมทำแนวกันไฟ เพื่อให้มีน้ำผลิตไฟฟ้า ซึ่งโรงไฟฟ้าชุมชนร่วมกันสร้าง จึงรู้สึกถึงความเป็นเจ้าของ อีกทั้งยังมีรายได้จากการขายไฟให้แก่สมาชิก แต่เนื่องจากโรงไฟฟ้าแรกมีอายุการใช้งานมากกว่า 30 ปี ทำให้ท่อน้ำจากต้นน้ำไปยังโรงไฟฟ้าชำรุดแตกเสียหายต่อพื้นที่ของชาวบ้าน อีกทั้งทำให้ปริมาณน้ำมีไม่เพียงพอในการผลิตไฟฟ้า จึงหยุดการผลิตเมื่อปลายปี 2559 แต่ชุมชนยังคงเห็นความสำคัญของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ จึงทำเรื่องขอการสนับสนุนจาก สนพ.ในการปรับปรุงระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าโรงแรกที่ผลิตไฟใช้ในชุมชน

สำหรับโรงที่สองได้ปรับระบบของโรงไฟฟ้าให้เชื่อมเข้ากับระบบของการไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว แต่ต้องหยุดการผลิตตั้งแต่ปี 2551 เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องการโอนสินทรัพย์ที่เป็นของรัฐ และการทำนิติกรรมต้องดำเนินการผ่าน อบต. สหกรณ์จึงไม่สามารถขายไฟฟ้าให้กับภาครัฐโดยใช้สิ่งปลูกสร้างที่ภาครัฐช่วยเหลือได้โดยตรง (ณัฐพงศ์ พื้นแสน, 2554) ชุมชนมีความเห็นว่ากฎระเบียบควรได้รับการปรับแก้เพื่อจะสามารถผลิตไฟฟ้าและขายเข้าระบบของการไฟฟ้าได้ต่อไป และมีความประสงค์ให้ภาครัฐจัดให้มีการพูดคุยกับชุมชนในปัญหาดังกล่าวเพื่อหาทางออกร่วมกัน ก่อนจะประกาศเป็นกฎหมายเพื่อผลักดันพลังงานชุมชนให้มีความมั่นคง

ผลจากการวิเคราะห์สภาพปัจจัยภายในและสภาพปัจจัยภายนอก (Markovska, Taseska and Jordanov, 2009: 752-756) ที่มีความสำคัญต่อการจัดการพลังงานตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของชุมชน สรุปได้ ดังนี้

ปัจจัยภายในจุดแข็ง	1. มีความคิดเห็นเป็นหนึ่งเดียวในการรักษาโรงไฟฟ้า 2. ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 3. มีคณะกรรมการสหกรณ์บริหารจัดการโรงไฟฟ้าพลังน้ำ 4. ชุมชนร่วมกันรักษาต้นน้ำ ทำแนวกันไฟ ดูแลฝาย	**ปัจจัยภายนอกโอกาส**	1. สนพ. มีนโยบายสนับสนุนชุมชนให้ใช้พลังงานทดแทน 2. อบต.ทำเรื่องถึง สนพ. ผลักดันการแก้ไขกฎหมายที่เป็นข้อจำกัดในการซื้อขายไฟ 3. สหกรณ์ขอการสนับสนุนจาก สนพ. ปรับปรุงระบบไฟฟ้า

ผลจากการวิเคราะห์สภาพปัจจัยภายในและสภาพปัจจัยภายนอก (ต่อ)

ปัจจัยภายในจุดแข็ง	5. ผู้นำทางความคิดมีความรู้และวิสัยทัศน์ 6. อดีตประธานสหกรณ์ไฟฟ้าเสียสละและดูแลโรงไฟฟ้าด้วยความเอาใจใส่		
ปัจจัยภายในจุดอ่อน	1. ท่อน้ำที่เชื่อมต่อไปยังโรงไฟฟ้าฯ ชำรุด 2. สหกรณ์ฯ มีงบประมาณในการสนับสนุนไม่เพียงพอ 3. สหกรณ์ฯ ไม่มีบุคลากรที่มีความรู้เฉพาะทางด้านช่างไฟฟ้าและกฎหมาย 4. สหกรณ์ให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการพลังงานไม่เพียงพอ	**ปัจจัยภายนอกอุปสรรค**	1. กฎหมายการซื้อขายไฟฟ้า 2. อัตรากำลังของผู้เชี่ยวชาญประจำ สนพ. ประจำจังหวัดมีไม่เพียงพอ 3. มีนโยบายส่งเสริมและสนับสนุนให้ชุมชนใช้พลังงานทดแทน แต่ต้องเพิ่มเติมเรื่องการติดตามประเมินผลความสำเร็จโครงการให้มากขึ้น

6. อภิปรายผล

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ตามวัตถุประสงค์การวิจัย ดังนี้

ชุมชนแม่กำปองมีพื้นที่เหมาะสมในการสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีป่าสมบูรณ์เป็นต้นกำเนิดของแหล่งน้ำที่นำมาผลิตไฟฟ้าได้ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นศูนย์กลางความร่วมมือของชุมชนที่ร่วมสร้างกันมา โดยสร้างอาชีพและรายได้ นำความสะดวกในการดำเนินชีวิตให้แก่ชุมชน ทำให้ชุมชนมีจิตสำนึกและตระหนักในการจัดการพลังงาน ทุกคนให้ความร่วมมือในการดูแลรักษาป่า เพื่อให้ต้นน้ำมีปริมาณน้ำมากพอในการผลิตไฟฟ้าใช้ ซึ่งลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและชุมชนสามารถพึ่งตนเองได้ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการจัดการน้ำตามแนวพระราชดำริจากกระแสพระราชดำรัสของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชบรมนาถบพิตรที่ให้ไว้เมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2529 ณ พระตำหนักจิตรลดารโหฐานว่า

> ..."หลักสำคัญ ว่าต้องมีน้ำบริโภค น้ำใช้ น้ำเพื่อการเพาะปลูก เพราะว่าชีวิตอยู่ที่นั่น ถ้ามีน้ำ คนอยู่ได้ ถ้าไม่มีน้ำ คนอยู่ไม่ได้ ไม่มีไฟ คนอยู่ได้ แต่ถ้ามีไฟฟ้า ไม่มีน้ำ คนอยู่ไม่ได้" พระราชดำรัสนี้ให้ความหมายถึงความสำคัญของน้ำตลอดจนที่ดินที่ต่อเนื่องกับแหล่งน้ำและทรัพยากรอื่นที่เกี่ยวข้อง เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวกับน้ำ โดยทรงมีความเชื่อมั่นว่า เมื่อใดที่สามารถแก้ไขหรือบรรเทาความเดือดร้อนในเรื่องน้ำให้แก่ราษฎรได้ เมื่อนั้นราษฎรจะมีฐานะความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นกว่าเดิม สามารถสนองความต้องการขั้นพื้นฐาน และได้พัฒนาคุณภาพชีวิตจากสภาพยากจนแร้นแค้นให้อยู่ในฐานะ "พอมีพอกิน" หรือถึงขึ้น "มีกินมีใช้" ต่อไปได้

ความตระหนักในเรื่องการจัดการพลังงานในชุมชนมีอยู่สูงมาก ปัจจัยสำคัญคือผู้นำทางความคิด ผู้นำชุมชน ที่ได้รับความเคารพนับถือเป็นต้นแบบที่ดี เรียนรู้ตลอดเวลา มีความเสียสละ มีวิสัยทัศน์นำให้ชุมชนตระหนักถึงการอนุรักษ์ป่า นำทุนทางธรรมชาติคือต้นกำเนิดของน้ำมาผลิตไฟฟ้าใช้ในชุมชน ร่วมกันปลูกป่า ทำแนวกันไฟ ดูแลฝาย แต่การซ่อมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อเกิดปัญหาที่มีความซับซ้อน ชุมชนยังต้องพึ่งเจ้าหน้าที่พลังงานเนื่องจากไม่มีบุคลากรที่มีความรู้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของโกวิทย์ พวงงาม (2553) ที่ว่ากระบวนการจัดการตนเองของชุมชนต้องอาศัยการสนับสนุนจากภายนอก เพื่อเป็นกระจกสะท้อนให้ชุมชนและสังคมภายนอกได้รับรู้ อีกทั้งเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้กระบวนการจัดการตนเองของชุมชนมีประสิทธิภาพมากขึ้น คือการจัดการตนเองของชุมชนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการจัดการภายในชุมชนรวมทั้งได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานนอกให้เข้มแข็งและพึ่งตนเองได้ และสอดคล้องกับการจัดการทรัพยากรน้ำของชุมชนบ้านคลองเรือที่ร่วมกับสถาบันการศึกษา ได้แก่คณะสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และมหาวิทยาลัยชีวิต จังหวัดนครศรีธรรมราช ภายใต้การสนับสนุนจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) (จิตติ มงคลชัยอรัญญา, 2554)

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ ดังนั้นการซ่อมบำรุงระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับโรงที่ 1 ในครั้งนี้ ควรนำอุปกรณ์และเทคโนโลยีที่ผลิตในประเทศมาใช้ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย และสนับสนุนอุปกรณ์ที่ผลิตในประเทศ อีกทั้งให้ชุมชนส่งกลุ่มบุคลากรมาเรียนรู้การควบคุมดูแลบำรุงรักษาอุปกรณ์ เพื่อชุมชนจะสามารถพึ่งตนเองได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับโครงการจัดการความรู้ด้านพลังงานไฟฟ้าในภาคใต้ โดยมีจิตติ มงคลชัยอรัญญา หัวหน้าโครงการ ปี พ.ศ. 2552 ซึ่งก่อนหน้านี้ผู้ใหญ่บ้านไปดูงานหมู่บ้านแม่กำปอง แล้วซื้อเครื่องผลิตไฟฟ้าของต่างประเทศมาใช้แต่ใช้ได้ไม่นานก็เสีย ต่อมาเมื่อโครงการฯดังกล่าวอยู่ภายใต้ความช่วยเหลือจาก กฟผ.โดยให้งบประมาณและมอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและส่วนประกอบต่างๆ ในการสร้างโรงไฟฟ้า โครงการนี้จึงสำเร็จด้วยการมีส่วนร่วมของชาวบ้าน และ กฟผ. ได้ถ่ายทอดทักษะการดูแล ผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ จนสามารถดูแลตัวเองได้ (ดวงพักตรา ไชยพงศ์, 2555)

ตัวอย่างที่เป็นต้นแบบของการพัฒนานวัตกรรมท้องถิ่น คือ กังหันผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กของหมู่บ้านคีรีวง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีภูมิประเทศเช่นเดียวกับชุมชนแม่กำปอง ต่างกันที่หมู่บ้านคีรีวงมีกระบวนการพัฒนาและส่งเสริมกังหันน้ำด้วยตนเองเพื่อผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมาก คือสร้าง “กังหันน้ำคีรีวง” เพื่อใช้ผลิตไฟฟ้า ประเด็นนี้หากภาครัฐและสถาบันการศึกษาที่มีหน่วยงานวิจัยและพัฒนามีความร่วมมือกันสร้างและพัฒนานวัตกรรมท้องถิ่นแล้วจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศได้มาก

ชุมชนแม่กำปอง เป็นตัวอย่างของชุมชนที่สามารถพัฒนาพลังงานทดแทนจากทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นบนพื้นฐานของการรู้จักและเข้าใจตนเองอย่างแท้จริง ดังที่อดีตผู้อำนวยการ สนพ. กล่าวว่าชุมชนแม่กำปองเป็นชุมชนพึ่งตนเองด้านพลังงานชุมชนแรกๆ ของไทย และชี้ให้เห็นถึงการเติบโตของพลังงานชุมชนภายใต้แผนพลังงานชุมชนที่ดำเนินตามปรัชญา “เศรษฐกิจพอเพียง” (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2561)

จากผลการสัมภาษณ์ ผู้ใหญ่บ้าน (2561) พบว่า สนพ. เตรียมจัดสรรงบประมาณให้ชุมชนเพื่อปรับปรุงระบบผลิตและจำหน่ายของโรงไฟฟ้าพลังน้ำโรงที่ 1 ซึ่งหากโรงไฟฟ้าได้รับการปรับปรุงเรียบร้อยแล้ว แนวทางที่หมู่บ้านจะสร้างความเข้าใจให้ชาวบ้านและกำหนดให้ทุกครัวเรือนใช้ไฟฟ้าจากพลังน้ำ 5 หลอดทุกหลังรวม 100 วัตต์ และเต้าเสียบอีก 1 จุด ต่อตรงจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำ เนื่องจากค่าไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำถูกกว่า ซึ่งกำหนด

ราคาโดยสหกรณ์ฯ นั้นจะเป็นการประหยัดและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ แนวคิดดังกล่าวเป็นการดำเนินการตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดชบรมนาถบพิตร ซึ่งวิสาขา ภู่จินดา(2555) กล่าวว่า

> ...การประยุกต์ใช้ปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการพลังงานเป็นสิ่งที่ควรกระทำอย่างยิ่ง เราไม่ได้มองอนาคตที่จะมีการขาดแคลนพลังงานโดยไม่ได้คิดจะลดการใช้พลังงาน โดยการประหยัดพลังงานมากกว่าที่จะหาแหล่งพลังงานเพิ่มเติมและการพึ่งพาต่างประเทศ ด้านการจัดหาพลังงานเช่น น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น เป็นการไม่พึ่งตนเองและทำให้ประเทศขาดความมั่นคง ดังนั้นประเทศควรหาทางสร้างความพอประมาณและสร้างภูมิคุ้มกันด้านพลังงาน...”

บทสรุป

จากผลการวิจัย จะเห็นได้ว่าโครงการแผนพลังงานชุมชนหรือ LEP ที่กำกับดูแลโดยหน่วยงานภาครัฐ เป็นโครงการที่ให้ประโยชน์แก่ชุมชนโดยตรงในเรื่องการจัดการพลังงานและตรงตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่สร้างชุมชนให้เข้มแข็ง พึ่งตนเองได้ หลายชุมชนที่ได้ดำเนินการภายใต้โครงการ LEP ได้แก่ ตำบลพลับพลาชัย จ.สุพรรณบุรี บ้านพลกรัง จ.นครราชสีมา เป็นตัวอย่างที่ประสบความสำเร็จจากการดำเนินการตามแผนพลังงานชุมชน อย่างไรก็ดีแม้ชุมชนแม่กำปองมีผู้นำที่มีวิสัยทัศน์ ชุมชนมีความช่วยเหลือ มีความสามัคคี และมีทุนทางธรรมชาติคือน้ำเป็นแหล่งพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้า ยังมีปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่ชุมชนต้องเร่งดำเนินการในขณะนี้คือ เรียนรู้ในการจัดทำแผนพลังงานเพื่อสามารถจัดทำแผนและเรียนรู้วิธีการจัดการพลังงาน โดยมีกระทรวงพลังงานเป็นผู้สนับสนุนให้ความรู้แก่ชุมชนเพื่อให้พร้อมรับกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำโรงที่ 1 ซึ่งจะได้รับการปรับปรุงให้ผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในชุมชน รวมถึงโรงไฟฟ้าโรงที่สอง หากมีการปรับแก้ข้อจำกัดเพื่อให้สหกรณ์ฯ ขายไฟฟ้าได้ด้วย และจะต้องเป็นหน้าที่ของชุมชนโดยรวมที่ต้องสร้างความเข้าใจร่วมกัน ในการบริหารจัดการพลังงาน การจัดทำแผนพลังงานภายในชุมชน และใช้พลังงานอย่างพอเพียง และรู้คุณค่า

ผู้วิจัยจึงเห็นประโยชน์ของโครงการ LEP ดังกล่าวข้างต้นทีภาครัฐได้ดำเนินการ และเพื่อให้ชุมชนเกิดความศรัทธาและพร้อมที่จะเดินตามแผนพลังงานที่มีส่วนร่วมสร้างโรงไฟฟ้ากับภาครัฐ จึงควรมีการทบทวนแก้ไขกฎหมายทำให้ชุมชนสามารถขายไฟได้และพึ่งตนเองได้ ไม่เป็นภาระของภาครัฐ เช่นที่บ้านคลองเรือได้รับการสนับสนุนจาก กฟผ. ทั้งงบประมาณและอุปกรณ์ และสามารถขายไฟเข้าระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าได้

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ภาครัฐควรพิจารณาและดำเนินการปรับแก้กฎระเบียบที่เป็นข้อจำกัดเรื่องการโอนสินทรัพย์ที่เป็นของรัฐ และการทำนิติกรรมที่ต้องดำเนินการผ่านภาครัฐ เปลี่ยนเป็นชุมชนสามารถดำเนินการได้เอง ทำให้พึ่งตนเองได้ ตามเป้าหมายของ LEP ซึ่งจะทำให้ชุมชนต่างๆ สามารถร่วมมือกับภาครัฐได้อย่างต่อเนื่อง

2. ภาครัฐควรมีแนวทางและเป้าหมายที่ชัดเจน ครอบคลุม และสอดคล้องกับกรอบนโยบายของสากลในเรื่องแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก รวมทั้ง อบต. และสนพ. ควรรณรงค์ทำความเข้าใจกับชุมชนเรื่องการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

3. ภาครัฐและชุมชนควรเตรียมบุคลากรของตนเองให้มีความรู้ในเรื่องการจัดการพลังงาน การจัดทำแผนพลังงานและเรื่องอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับโรงไฟฟ้า เพื่อรองรับการดำเนินการตามแผนพลังงานชุมชน

4. สหกรณ์ไฟฟ้าต้องให้ความสำคัญเรื่องการบริหารจัดการโรงไฟฟ้ารวมทั้งเทคโนโลยีใหม่ๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศเป็นลำดับแรก เพื่อรองรับกับการบริหารจัดการโรงไฟฟ้าโดยมี สนพ. เป็นพี่เลี้ยง

5. สหกรณ์ไฟฟ้า ควรสร้างศูนย์การเรียนรู้ในเรื่องโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมากและเรื่องการบริหารจัดการพลังงาน เพื่อเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเครือข่ายพลังงาน และหน่วยงานต่างๆ เนื่องจากโลกมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่อาจเกี่ยวข้องและส่งผลต่อประสิทธิภาพในการจัดการพลังงาน

2. ศึกษาอิทธิพลที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการจัดการพลังงาน

8. เอกสารอ้างอิง

กมลพิพัฒน์ ชนะสิทธิ์ และประสพชัย พสุนนท์ การสุ่มตัวอย่างและการผสานข้อมูลตามแบบแผนการวิจัยแบบผสมวิธี **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี** ปีที่ 12 ฉบับที่ 29 เดือนกันยายน – ธันวาคม 2561

กระทรวงพลังงาน. 2561. (On line) e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15165.

โกวิทย์ พวงงาม. 2553. “การจัดการตนเองของชุมชนและท้องถิ่น.” กรุงเทพฯ : บพิธการพิมพ์.

จิตติ มงคลชัยอรัญญา. 2554. “โครงการการจัดการความรู้ด้านพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ภาคใต้ .” (On line) deepsouthwatch.org.

ชัยยุทธ ชินณะราศี. 2553. “การประเมินศักยภาพของพลังน้ำขนาดเล็กในประเทศ.” (On line) http://www.mtec.

ณัฐพงศ์ พื้นแสน. 2554. ภาคีความร่วมมือระหว่างภาครัฐและเอกชนกับประสิทธิผลของนโยบายส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์รัฐประศาสนศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขารัฐประศาสนศาสตร์, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

ดวงพักตรา ไชยพงศ์. 2555. “กฟผ. ทุ่มกว่า 20 ล้านผลักดันชาวบ้านผลิตไฟฟ้าใช้เอง.” (On line) http://www.siamrath.co.th

ทศพนธ์ นรทัศน์. 2551. “พลังงานชุมชน.” (On line) http://www.thaingo.org.

ปวริศร เลิศธรรมเทวี และอัจฉรา ชินนิยมพาณิชย์. 2560. “การส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือก พลังงานทดแทน.”

วิสาขา ภู่จินดา. 2552. “การประยุกต์หลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในการจัดการพลังงานในระดับชุมชน.” วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม ปีที่ 5 เล่มที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2552.

ศิริวรรณ เสรีรัตน์. 2540. “พฤติกรรมผู้บริโภค,” พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ดอกหญ้า.

สยามรัฐ. 2561. “น้ำคือชีวิต” พระราชดำริรัชกาลที่ 9 ที่เกิดประโยชน์สุขต่อประชาชนอย่างยั่งยืน(1). (On line) https://siamrath.co.th/n/6774

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2561. (On line). http://www.eppo.go.th.engy. WP04-B.html.

อุสาห์ บุญบำรุง. 2555. “การวิจัยเพื่อพัฒนานวัตกรรมท้องถิ่นและถ่ายทอดเทคโนโลยีกังหันผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก.” **วารสารวิจัยเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่.** ปีที่ 4 (4) มีนาคม-เมษายน

Markovska, Taseska and Jordanov. 2009. **SWOT Analysis** : 752-756.

WordPress. 2018. (On line) https://www.statisticshowto:datasciencecentral.com/likert-scale-definition-and-examples/

การประเมินผลกระทบกรณีรั่วไหลและเพลิงไหม้ของวัตถุอันตราย เฮกซะเมทิลไดไซลาเซน

CHEMICAL SPILL, EXPLOSION AND FIRE HAZARD ASSESSMENT FOR HEXAMETHYLDISILAZANE

นายศิวนันท์ แก้วบุญเรือง
โครงการปริญญาโท สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย ภาคพิเศษ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: Siwanan.k@ku.th
นันทิยา หาญศุภลักษณ์
รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fengnyh@ku.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานศึกษานี้เพื่อประเมินผลกระทบกรณีการรั่วไหลของวัตถุอันตรายเฮกซะเมทิลไซลาเซนภายในพื้นที่ถ่ายเทสารจากแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายไปยังถังเก็บสารด้วยโปรแกรมALOHA รุ่น 5.4.7 และนำผลที่ได้ไปปรับปรุงมาตรการที่ใช้ปัจจุบันของโรงงานเพื่อลดผลกระทบเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยการประเมินนี้ได้กำหนดสถานการณ์จำลองการรั่วไหลขนาดความจุประมาณ 16,000 ลิตร สภาพบรรยากาศระดับ D และก๊าซที่รั่วจัดเป็น heavy gas ผลพบว่าการรั่วไหลนี้อาจก่อให้เกิดสถานการณ์ 3 ชนิดคือ (1) การรั่วไหลของไอระเหย (2) การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ และ (3) การรั่วไหลที่เกิดจากการระเบิดเนื่องจากการขยายตัวของเหลวเดือดกลายเป็นไอ โดยสถานการณ์ที่ก่อให้เกิดความรุนแรงมากที่สุด (จำนวนคนเสียชีวิตและขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ) คือสถานการณ์ที่ 3 1 และ 2 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามโอกาสการเกิดสถานการณ์ที่ 3 มีค่าต่ำมากเนื่องจากแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายที่ใช้นั้นสามารถทนต่อแรงดันที่เกิดจากการขยายตัวเป็นไอของของเหลวที่บรรจุได้สูง (2.2 บาร์) ส่วนสถานการณ์ที่ 1 นั้นพบว่าในช่วงขนาดรูรั่วที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้ (0.6 - 3 นิ้ว) มีโอกาสที่คนจะเสียชีวิตได้และคนในโรงงานใกล้เคียงอาจมีอาการระคายเคืองในระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นบริษัทที่สนใจนี้ควรติดตั้งระบบตรวจจับไอระเหยและหน้ากากป้องกันสารเคมีตามจุดต่างๆ ของบริษัท ในขณะที่สถานการณ์ที่ 2 นั้น ที่ก่อให้เกิดความร้อนที่สามารถทำให้คนเสียชีวิตภายใน 60 วินาที โรงงานต้องทำให้เส้นทางอพยพโล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ก็เพียงพอแล้วที่ทุกคนจะอพยพออกไปจากจุดเกิดเหตุก่อนครบ 60 วินาทีได้

คำสำคัญ: เฮกซะเมทิลไดไซลาเซน, สารไวไฟ, การรั่วไหล, อโลฮา

ABSTRACT

The objectives of this study were to predict the spill of hexamethyldisilazane leakage from an ISO tank container during the transfer to a storage tank in an unloading area by using ALOHA version 5.4.7 and to improve the current measures of protection, reducing impacts of emergencies. In this study, the release scenario was based on the release of 16,000 liter of hexamethyldizilxane with class-D atmospheric stability and being categorized as a heavy gas. The results obtained from ALOHA revealed three possible situations: (1) release of toxic vapor cloud, (2) polol fire, and (3) boiling Liquid expanding vapor explosion (BLEVE). The most severe situation in terms of the number of fatalities and the size of the affected area is Situation 3, followed by Situations 1 and 2, respectively. However, the probability to occur of Situation 3 is quite low because the current ISO tank container was found to be adequately withstand the pressure of 2.2 bar, developed during the liquid expansion inside the container. In Situation 1, the leak diameters in the range of 0.6 - 3 inch can potentially be a cause of death for workers in the company of interest and, simultaneously, cause workers in nearby companies to have the respiratory tract irritation. Hence, the company should install vapor detectors to warn of a vapor release and provide respirators in working areas. Although Situation 2 could generate heat, causing deaths within 60 seconds, keeping all evacuation pathways clear of clutter is sufficient for people to evacuate from the accident site before 60 seconds.

KEYWORDS: Hexamethyldisilazane, Flammable liquid, leakage, ALOHA

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในช่วงสิบปีที่ผ่านมา โรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเคมีที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในจ. ระยอง ได้ประสบเหตุรั่วไหลของสารเคมี ที่นำไปสู่การเกิดไฟไหม้และระเบิด ส่งผลให้มีคนได้รับอันตรายจากการรั่วไหลของสารเคมีทั้งที่อยู่ในโรงงานและนอกโรงงาน รวมทั้งมีการเสียชีวิตของผู้ปฏิบัติงานอันเป็นผลจากไฟไหม้และระเบิดที่เกิดขึ้น นอกจากความเสียหายที่เกิดกับมนุษย์แล้ว แรงระเบิดยังส่งผลต่อโครงสร้างอาคารและเครื่องจักรด้วย

เฮกซะเมทิลไดไซลาเซน (Hexamethyldisilazane) เป็นสารตั้งต้นใช้ผลิตสารประกอบประเภทอิลาสโตเมอร์ (Elastomeric compound) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของรถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องบินและยานอวกาศ อุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเลคทรอนิกส์ เครื่องครัว จุกนมเด็ก ท่อยางสำหรับใช้ในทางการแพทย์ และอื่นๆ เฮกซะเมทิลไดไซลาเซนมีจุดวาบไฟ 7°C จึงจัดเป็นของเหลวไวไฟ ตามเอกสารแนบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่องการขนส่งวัตถุอันตรายที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมรับผิดชอบ 2558 ว่าด้วยเรื่องของการจำแนกวัตถุอันตราย หากสัมผัสสารนี้ทางผิวหนังและตาจะทำให้เกิดการระคายเคืองได้ หากได้รับสารนี้ทางการหายใจเป็นปริมาณมาก ก็จะทำให้หมดสติได้

ผลการประเมินความเสี่ยงของการเกิดอันตรายในโรงงานที่ผลิตสารประกอบประเภทอิลาสโตเมอร์ที่ใช้เฮกซะเมทิลไดไซลาเซนเป็นสารตั้งต้น โดยใช้วิธี Hazard and Operability Study (HAZOP) พบว่า การถ่ายสาร

เฮกซะเมทิลไดไซลาเซนจากแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตราย (ISO Tank Container) ไปยังถังเก็บสารของโรงงานมีความเสี่ยงสูงที่อยู่ในระดับที่ต้องแก้ไขตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 เรื่อง มาตรการคุ้มครองความปลอดภัยในการดำเนินงานที่ให้กำหนดหลักเกณฑ์การบ่งชี้อันตราย การประเมินความเสี่ยงและจัดทำแผนงานบริหารจัดการความเสี่ยง ก็พบว่าการรั่วไหลของสารขณะถ่ายเทที่อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายกับท่อเหล็กที่จะพาสารไปยังถังเก็บของโรงงาน เป็นหนึ่งในสาเหตุพื้นฐานที่ทำให้เกิดอันตราย ทั้งนี้การรั่วไหลนี้เกิดจากความบกพร่องของระบบบำรุงรักษาชุดข้อต่อ ซึ่งไม่ได้อยู่ในแผนการบำรุงรักษาของบริษัทประจำประเทศไทย

จากการวิเคราะห์การทำงานที่เกี่ยวข้องกับบริเวณที่มีการถ่ายเทสารนี้ พบว่า ขณะทำการถ่ายสารไปยังถังเก็บนี้ แท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายจะจอดอยู่ที่โรงงานรวมทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง ในระหว่างนี้บริษัทไม่อนุญาตให้ทำงานที่ก่อให้เกิดประกายไฟในรัศมี 11 เมตร ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทสารต้องใส่หน้ากากกันสารเคมีและใส่ชุดที่ป้องกันร่างกายทุกส่วนจากการสัมผัสกับสารเคมี อย่างไรก็ตามในบริเวณที่ห่างจากแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายนี้ 10 เมตรจะมีผู้ปฏิบัติงานอื่นๆ ทำงานอยู่ โดยไม่ได้สวมหน้ากากหรือชุดป้องกันการสัมผัสกับสารเคมี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินความรุนแรงของอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการรั่วไหลของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนที่อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายกับท่อเหล็กที่จะพาสารไปยังถังเก็บของโรงงาน โดยใช้โปรแกรม Aloha รุ่น 5.4.7 สมการคณิตศาสตร์สำหรับ heavy gas ถูกเลือกใช้ในการคำนวณครั้งนี้ สภาพอากาศที่ใช้ในการประเมินความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการรั่วไหลนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของสภาพอากาศในช่วง 27 ตุลาคม 2561 ถึง 2 พฤศจิกายน 2561 ทิศทางลมที่สนใจคือพัดจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก ซึ่งเป็นที่ตั้งของอาคารผลิต อาคารสำนักงานและที่ตั้งของชุมชน ผลจากการประเมินนี้จะนำมาใช้ทบทวนความเหมาะสมของมาตรการความปลอดภัยที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อปกป้องผู้ปฏิบัติงานในโรงงานและคนในชุมชนใกล้เคียง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินความรุนแรงของอันตรายที่เกิดจากการรั่วไหลของสารในพื้นที่ปฏิบัติงานของบริษัท กรณีศึกษาด้วยโปรแกรม Aloha รุ่น5.4.7 โดยมีสาเหตุจากความบกพร่องของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายไปยังระบบสูบในระหว่างที่พนักงานกำลังถ่ายเท

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความรุนแรง

ข้อมูลแหล่งที่เกิดการรั่วไหล การรั่วที่อุปกรณ์เชื่อมต่อนี้ได้สมมติให้มีขนาดรูรั่วเท่ากับร้อยละ 20 ของขนาดของท่อ (คิดเป็น 0.6 นิ้ว) ปริมาตรของสารที่อยู่ในแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายอยู่ที่ 16,000 ลิตร อุณหภูมิของสารในแท็งก์เท่ากับ 32.9 องศาเซลเซียส ไดค์ทำจากคอนกรีตมีพื้นที่เท่ากับ 75 ตารางเมตร สารเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนมีจุดเดือด 125.8 C ทำให้สถานะของสารนี้ที่รั่วเป็นของเหลวแล้วระเหยในภายหลัง ดังนั้นถือว่าอุณหภูมิและความดันของไอระเหยจึงเท่ากับของอากาศ

ข้อมูลสภาพบรรยากาศที่ใช้ อุณหภูมิอากาศ 32.9 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 9.6 น๊อต สภาพความเสถียรของอากาศเป็นชนิด D

3.2 การประเมินความรุนแรงโดยใช้ **Aloha 5.4.7**

น้ำหนักโมเลกุลของสารเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนเท่ากับ 161.39 กรัมต่อโมล จึงเลือกใช้สมการคณิตศาสตร์สำหรับ Heavy gas ในการประเมินความรุนแรงที่เกิดจากการรั่วไหล และกำหนดให้ทิศทางลมที่สนใจคือพัดจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก ซึ่งเป็นที่ตั้งของอาคารผลิต อาคารสำนักงานและที่ตั้งของชุมชน จากนั้นจึงให้โปรแกรมคำนวณพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

4. ผลการทดลอง

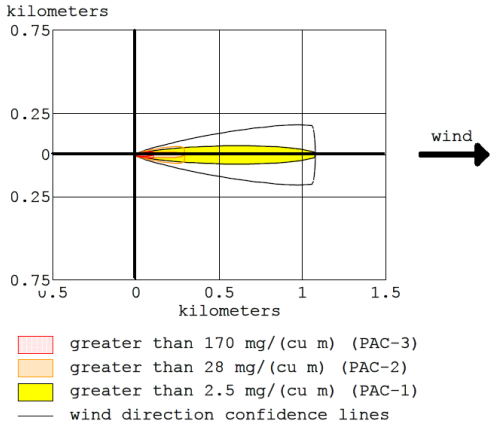
เมื่อนำข้อมูลที่ได้ทำการรวบรวมมานำไปสร้างแบบจำลองการรั่วไหลของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนด้วย ALOHA ซึ่งโปรแกรมได้คำนวณเหตุการณ์ที่สามารถเป็นไปได้ 3 คือ การรั่วไหลของไอระเหย การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ และการรั่วไหลที่เกิดจากการระเบิดเนื่องจากการขยายตัวของเหลวเดือดกลายเป็นไอ

4.1 การรั่วไหลของไอระเหย

ในกรณีนี้เป็นการรั่วที่สารรั่วออกมาเป็นของเหลว ไหลสู่ไดค์ที่มีพื้นที่เท่ากับ 75 ตารางเมตร นาน 1 ชั่วโมง ALOHA ได้คำนวณขนาดของแอ่งของเหลวบนพื้นและอัตราการระเหยในช่วง 1 ชั่วโมงนี้ และใช้ข้อมูลในช่วงที่เป็นสภาวะคงตัว (steady state) นี้คำนวณพื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบ โดยได้แบ่งพื้นที่ที่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากความเข้มข้น 3 ระดับ ตามเกณฑ์ Protective Action Criteria (PAC) ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งแสดงตัวอย่างของฟุตพรินท์ที่ได้จากโปรแกรม ALOHA สำหรับรูรั่วขนาด 0.6 นิ้ว (สำหรับรูรั่วขนาดอื่นๆ ก็จะได้ฟุตพรินท์ในลักษณะคล้ายกันนี้) ผู้ที่อยู่ในพื้นที่สีแดง (PAC-3) อยู่ใกล้กับจุดรั่วไหลมากที่สุด รองลงมาคือผู้ที่อยู่ในพื้นที่สีส้ม (PAC-2) และพื้นที่สีเหลือง (PAC-1) ตามลำดับ ผู้ที่อยู่ในพื้นที่สีแดงมีโอกาสเสียชีวิตได้ ในขณะที่ผู้อยู่ในพื้นที่สีส้มนั้นอาจได้รับผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่สามารถย้อนกลับหรืออื่น ๆ ที่อาจส่งผลต่อความสามารถในการป้องกันตนเองขณะเกิดการรั่วไหลนี้ สำหรับอันตรายที่ผู้ที่อยู่ในพื้นที่สีเหลืองมีโอกาสจะได้รับคือผลกระทบต่อสุขภาพชั่วคราว เช่น อาการระคายเคืองเล็กน้อย เป็นต้น

ตารางที่ 1 ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของขนาดพื้นที่ (แสดงเป็นระยะห่างจากจุดรั่วไปยังจุดที่สนใจ) กับขนาดรูรั่ว โดยการเพิ่มรูรั่วจาก 0.6 นิ้วเป็น 0.75 นิ้ว ทำให้พื้นที่ของแอ่งของของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 68 ตารางเมตรเป็น 75 ตารางเมตร ซึ่งเป็นพื้นที่สูงสุดที่จะเกิดได้ (เต็มไดค์แล้ว) การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ของแอ่งของของเหลวนี้ทำให้อัตราการระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ที่พื้นที่ที่ได้รับความเข้มข้นแต่ละระดับมีขนาดกว้างขึ้น อย่างไรก็ตามพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นแต่ละระดับไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มขนาดของรูจาก 0.75 นิ้วเป็น 1 นิ้ว แต่มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มขนาดของรูเป็น 3 นิ้ว ปรากฏการณ์นี้อธิบายได้จากการที่ขนาดรูรั่วสูงกว่าหรือเท่ากับ 0.75 นิ้ว ของเหลวจะรั่วออกมาเต็มไดค์ การเพิ่มขนาดของรูรั่วจึงทำให้ความลึกของแอ่งของเหลวเพิ่มขึ้น ดังนั้นอนุภาคที่อยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวจะได้รับความร้อนจากพื้นดินน้อยลง อัตราการระเหยของสารจึงมีค่าลดลง ด้วยเหตุนี้ในช่วงทีขนาดของรูรั่วมีค่าเท่ากับ 0.75 - 1นิ้ว ความลึกของแอ่งเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จึงไม่ทำให้อัตราการระเหยเปลี่ยนแปลงมากนัก พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นแต่ละระดับจึงมีค่าเท่ากัน แต่

เมื่อขนาดของรูรั่วมีค่าเป็น 3 นิ้ว ความลึกของแอ่งของของเหลวจะสูงเพิ่มมาก และทำให้อัตราการระเหยของสารลดลงจนทำให้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 1 ฟุตพรินท์ที่แสดงการแพร่กระจายของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนที่รั่วไหลเป็นไอระเหย

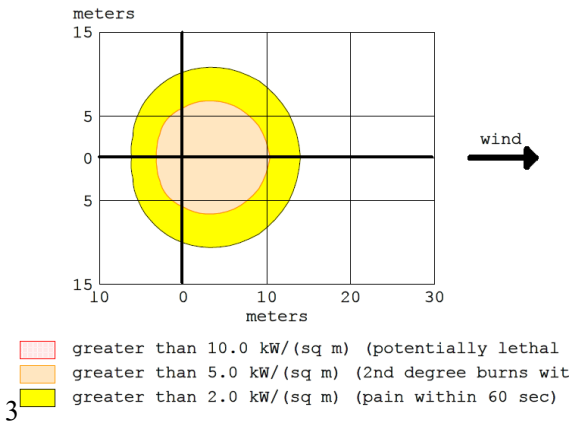
ตารางที่ 1 การคำนวณด้วย ALOHA สำหรับการรั่วไหลของไอระเหย

ระดับความรุนแรง		ระยะทางจากจุดรั่ว (เมตร)	จำนวนคนได้รับอันตราย	ผลกระทบ
การรั่วไหลของไอระเหยขนาดรูรั่ว 0.6 นิ้ว	170 mg/m^3	107	40	อาจทำให้เสียชีวิตได้
	28 mg/m^3	294	100	ได้รับอันตรายถึงขั้นพักรักษาตัว
	2.5 mg/m^3	1100	100	ระคายเคืองเล็กน้อย
การรั่วไหลของไอระเหยขนาดรูรั่ว 0.75 นิ้ว	170 mg/m^3	117	40	อาจทำให้เสียชีวิตได้
	28 mg/m^3	321	100	ได้รับอันตรายถึงขั้นพักรักษาตัว
	2.5 mg/m^3	1200	100	ระคายเคืองเล็กน้อย
การรั่วไหลของไอระเหยขนาดรูรั่ว 1 นิ้ว	170 mg/m^3	117	40	อาจทำให้เสียชีวิตได้
	28 mg/m^3	322	100	ได้รับอันตรายถึงขั้นพักรักษาตัว
	2.5 mg/m^3	1200	100	ระคายเคืองเล็กน้อย
การรั่วไหลของไอระเหยขนาดรูรั่ว 3 นิ้ว	170 mg/m^3	116	100	อาจทำให้เสียชีวิตได้
	28 mg/m^3	319	100	ได้รับอันตรายถึงขั้นพักรักษาตัว
	2.5 mg/m^3	1200	100	ระคายเคืองเล็กน้อย

4.2 การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ (Leaking tank, chemical is burning and forms a pool fire)

กรณีนี้เป็นการรั่วในลักษณะเดียวกับหัวข้อ 4.1 สำหรับรูรั่วในช่วง 0.6–3 นิ้ว แต่มีแหล่งให้ความร้อนอยู่ในบริเวณนั้นในเวลาเดียวกัน ALOHA ได้คำนวณ พื้นที่ที่จะได้รับผลกระทบ โดยได้แบ่งพื้นที่ที่คาดว่าจะ

ได้รับผลกระทบจากปริมาณความร้อนต่อพื้นที่ หรือเรียกว่าฟลักซ์ความร้อน (Heat flux) จำนวน 3 ระดับ โดยส่งผลตั้งแต่ให้ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย ไปจนถึงเสียชีวิตได้ภายใน 1 นาที ตัวอย่างฟุตพรินท์ของการรั่วผ่านรูรั่วขนาด 1 นิ้วแสดงในภาพที่ 2 สำหรับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากรูรั่วขนาดอื่นๆ ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2



3

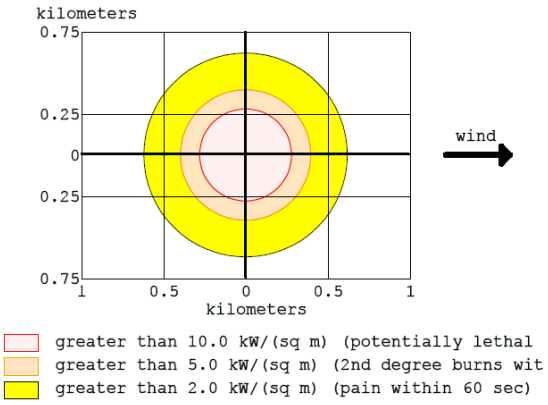
ภาพที่ 2 ฟุตพรินท์ที่แสดงการรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ (Leaking tank, chemical is burning and forms a pool fire) ที่รูรั่วขนาด 1 นิ้ว

ตารางที่ 2 การคำนวณด้วย ALOHA สำหรับการรั่วไหลของของสารบนพื้นและลุกติดไฟ

ระดับความรุนแรง		ระยะทางจากจุดรั่ว (เมตร)	จำนวนคนได้รับอันตราย	ผลกระทบ
การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ ขนาดรูรั่ว 0.6 นิ้ว	10 kW/m^2	< 10	3	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	< 10	3	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	< 10	3	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย
การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ ขนาดรูรั่ว 0.75 นิ้ว	10 kW/m^2	< 10	3	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	< 10	3	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	11	10	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย
การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ ขนาดรูรั่ว 1 นิ้ว	10 kW/m^2	< 10	3	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	10	3	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	14	10	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย
การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ ขนาดรูรั่ว 3 นิ้ว	10 kW/m^2	21	10	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	28	15	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	39	15	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย

4.3 การรั่วไหลที่เกิดจากการระเบิดเนื่องจากการขยายตัวของเหลวเดือดกลายเป็นไอ (BLEVE, tank explodes and chemical burns in fireball)

การรั่วไหลกรณีนี้เกิดจากมีแหล่งให้ความร้อนแก่แท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายที่บรรจุเฮกซะเมทิลไดไซลาเซน ที่มากพอจนทำให้อุณหภูมิของของเหลวในถังมีค่าสูงกว่าจุดเดือดของสาร สิ่งที่เกิดตามมาคือของเหลวเดือดและกลายเป็นไอ การเพิ่มขึ้นของปริมาตรที่เกิดจากการระเหยกลายเป็นไอที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงดันที่กระทำต่อผนังของแท็งก์ ร่วมกับความร้อนที่แท็งก์ได้รับ (โดยเฉพาะบริเวณด้านบนที่ไม่มีของเหลวช่วยดูดซับความร้อน) ทำให้โครงสร้างของแท็งก์สูญเสียความแข็งแรง (Structural strength) จะทำให้แท็งก์นี้แตกออกและปล่อยไอระเหยที่ไวไฟออกมาอย่างรวดเร็วและในปริมาณมาก เนื่องจากเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนมีจุดวาบไฟต่ำ ทำให้ไอระเหยที่ไหลออกมาจากแท็งก์ที่กำลังแตกมีโอกาสสูงที่จะลุกติดไฟได้ โดยแหล่งความร้อนก็คือไฟที่กำลังเผาไหม้แท็งก์อยู่ในขณะนั้น ไฟที่เกิดขึ้นเรียกว่า ลูกไฟ (Fireball) โปรแกรม ALOHA จะให้ค่าขนาดของลูกไฟที่ใหญ่ที่สุดที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้เพื่อให้ค่าระยะทางที่เป็นอันตรายนั้นสอดคล้องกับความเป็นจริง ระยะเวลาการลุกติดไฟของลูกไฟ ปริมาณสารที่จะลุกติดไฟ และค่าฟลักซ์ความร้อนและระยะที่เกี่ยวข้อง หากปริมาณสารที่ลุกติดไฟมีค่าน้อยกว่าปริมาณสารในถัง ALOHA จะกำหนดให้สารที่ไม่ลุกติดไฟไหลลงบนพื้นและเกิดไฟลุกไหม้ เพลิงที่เกิดขึ้นนี้คือ ไฟไหม้แอ่ง (Pool fire) รวมทั้งคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลางของแอ่ง ระยะเวลาการลุกติดไฟ และความยาวของเปลวไฟที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 3 ฟุตพรินท์ที่แสดงรัศมีที่ได้รับผลกระทบจากการการระเบิดเนื่องจากการขยายตัวของเหลวเดือดกลายเป็นไอ (BLEVE, tank explodes and chemical burns in fireball)

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จาก ALOHA โดยผู้วิจัยได้ทดลองเปลี่ยนอุณหภูมิของของเหลวที่อยู่ในแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายในช่วง 126.1-157.7 องศาเซลเซียส เพื่อให้ร้อยละของสารในแท็งก์ที่จะเป็นเชื้อเพลิงให้ลูกไฟมีค่าเท่ากับ 1 50 และ 100 (สารในแท็งก์ถูกเผาเป็นลูกไฟทั้งหมด) ตามลำดับ ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างของฟุตพรินท์ที่ได้จากการกำหนดให้อุณหภูมิของของเหลวในถังเท่ากับ 126.1 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดเดือดของสารเพียงเล็กน้อย แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้ร้อยละ 1 ของสารในถังถูกเผากลายเป็นลูกไฟ โดยสามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 บริเวณที่ได้รับฟลักซ์ความร้อนแตกต่าง

จากการที่ของเหลวในในแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายได้รับความร้อนสูงมากขึ้น และส่งผลให้ลูกไฟที่เกิดขึ้นขยายขนาดและลุกติดไฟนานขึ้น ผลที่ตามมาคือพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากฟลักซ์ความร้อนในแต่ละระดับมีขยายใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระยะที่ได้รับผลกระทบจากฟลักซ์ความร้อนในแต่ละระดับกับตำแหน่งของพนักงานที่ปฏิบัติงาน โรงงานและชุมชนใกล้เคียง ก็พบว่า การทำให้อุณหภูมิของของเหลวในแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายมีค่าอยู่ในช่วง 126.1–157.7 องศาเซลเซียส ก่อให้เกิดผลกระทบที่ร้ายแรงต่อผู้ที่อยู่ในบริษัทที่ศึกษา (พนักงานทั้งหมด 100 คน) และโรงงานที่อยู่ใกล้เคียง โดยคนเหล่านี้จะเสียชีวิตภายใน 1 นาทีจากการได้รับฟลักซ์ความร้อนสูงกว่า 10 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร อย่างไรก็ตามชุมชนที่อยู่ใกล้ที่สุด (ห่างจากจุดระเบิด 1500 เมตร) ไม่ได้รับผลกระทบใดๆ ทั้งสิ้นจากการระเบิดนี้

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณ ALOHA สำหรับการรั่วไหลที่เกิดจากการระเบิดของถังเนื่องจากการขยายตัวของของเหลวเดือดกลายเป็นไอ

ระดับความรุนแรง		ระยะทางจากจุดรั่ว (เมตร)	จำนวนคนได้รับอันตราย	ผลกระทบ
BLEVE : Fire ball 1% ที่ 126.1 °C และมีความดันในแท็งก์ก่อนถังแตก 1.02 บาร์	10 kW/m^2	209	100	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	298	100	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	466	100	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย
BLEVE : Fire ball 50% ที่ 142.4 °C และมีความดันในแท็งก์ก่อนถังแตก 1.56 บาร์	10 kW/m^2	224	100	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	318	100	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	497	100	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย
BLEVE : Fire ball 100% ที่ 157.7 °C และมีความดันในแท็งก์ก่อนถังแตก 2.26 บาร์	10 kW/m^2	280	100	เสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที
	5 kW/m^2	396	100	เกิดแผลจากไฟไหม้ระดับ 2
	2 kW/m^2	619	100	ได้รับบาดเจ็บเล็กน้อย

5. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษานี้เป็นการประเมินความรุนแรงของอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้จากการรั่วไหลของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนที่อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายกับท่อเหล็กที่จะพาสารไปยังถังเก็บของโรงงาน โดยใช้โปรแกรมALOHA กำหนดให้สภาพบรรยากาศเป็นระดับ D ไอระเหยของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนหนักกว่าอากาศ และแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายเป็นถังทรงกระบอกที่วางในแนวนอน (จุของเหลว 16,000 ลิตร) โดยมีท่อติดตั้งที่ด้านล่างของถังนี้ ผลพบว่า การรั่วไหลของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนออกมาจากท่อนี้อาจก่อให้เกิดสถานการณ์ 3 ชนิดคือ การรั่วไหลของไอระเหย การรั่วไหลของสารบนพื้นและลุกติดไฟ และการรั่วไหลที่เกิดจากการระเบิดเนื่องจากการขยายตัวของเหลวเดือดกลายเป็นไอ โดยสถานการณ์ที่ 3 ก่อให้เกิดผลกระทบรุนแรงที่สุด รองลงมาคือสถานการณ์ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

สถานการณ์ที่ 3 เกี่ยวข้องกับแท็งก์บรรทุกวัตถุอันตรายได้รับความร้อนจากภายนอกมากพอ จนทำให้อุณหภูมิของของเหลวสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 157.7 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ของเหลวเดือดกลายเป็นไอ เกิดการ

ขยายตัวของสารในถังจนในที่สุดทำให้ถังแตกและเกิดการระเบิดขึ้น ความร้อนที่เกิดจากลูกไฟมีโอกาสที่จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานทุกคนของบริษัทที่สนใจรวมถึงบริษัทใกล้เคียงเสียชีวิตได้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากความดันที่ทำให้ถังแตกนี้ (2.2 บาร์) มีค่าต่ำกว่าความดันที่ถังใบนี้รับได้ (6 บาร์) ดังนั้นจึงถือว่าแท็งก์ที่ใช้ในปัจจุบันนี้ออกแบบได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้โรงงานก็ปฏิบัติตามข้อแนะนำของ NFPA ที่ไม่ให้เก็บวัตถุไวไฟหรือสามารถติดไฟได้ในระยะ 11 เมตร อยู่แล้ว ดังนั้นถือว่าโอกาสที่จะเกิดสถานการณ์ที่ 3 นี้ต่ำมาก

สถานการณ์ที่ 1 ทำให้เกิดการแพร่กระจายของไอระเหย โดยรูรั่วขนาด 0.6 นิ้ว- 3 นิ้ว (ขนาดท่อ) มีโอกาสทำให้ผู้ปฏิบัติงานของบริษัทที่สนใจจำนวน 40 คนเสียชีวิตได้ และทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่เหลือรวมทั้งบริษัทใกล้เคียงได้รับอันตรายถึงขั้นต้องรักษาตัวและระคายเคืองเล็กน้อย แต่ระยะอันตรายเหล่านี้ไม่ส่งผลกระทบถึงแหล่งชุมชนที่ตั้งห่างออกไป 1500 เมตร จากการประเมินมาตรการปัจจุบันของโรงงาน พบว่าควรติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซน และติดตั้งจุดที่เก็บหน้ากากป้องกันสารเคมีไว้ตามจุดที่มีผู้ปฏิบัติงานในบริษัท

สถานการณ์ที่ส่งผลกระทบที่มีความรุนแรงน้อยสุดคือสถานการณ์ที่ 2 โดยเป็นการรั่วไหลของเฮกซะเมทิลไดไซลาเซนลงบนพื้นและลุกติดไฟ เมื่อเกิดรูรั่วขนาด 3 นิ้ว (เท่ากับขนาดของท่อ) ความร้อนที่เกิดจากเปลวไฟนั้นมีความรุนแรงมากพอที่จะทำให้ผู้ปฏิบัติงานในบริเวณไม่เกิน 25 เมตรจากจุดเกิดเหตุเสียชีวิตได้ภายใน 60 วินาที (ไม่กระทบบริษัทข้างเคียงหรือชุมชน) แต่รูรั่วขนาดเล็กกว่า 3 นิ้ว จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายใดๆ ต่อผู้ปฏิบัติงาน อย่างไรก็ตามผลกระทบของสถานการณ์นี้ถือว่าไม่รุนแรงเพราะสามารถป้องกันได้เพียงทำให้ไม่มีสิ่งกีดขวางอยู่ในเส้นทางอพยพที่จะขัดขวางการเคลื่อนย้ายคนออกจากพื้นที่ภายใน 60 วินาที

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์นันทิยา หาญศุภลักษณ์ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาระหว่างดำเนินการศึกษาตลอดจนตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำเพิ่มเติม เพื่อความสมบูรณ์ของการศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้

7. เอกสารอ้างอิง

สุกิต หัทยาสมบูรณ์ [1] .2548. **การประยุกต์ใช้โปรแกรมอโลฮาทำนายการฟุ้งกระจายตัวของสารคลอรีนเหลวเพื่อทำการประเมินผลกระทบของการฟุ้งกระจายและสร้างแผนงานป้องกันและบรรเทาความเสียหายจากอุบัติเหตุการรั่วไหล**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธัญญา สายสุทธิ์ [2].2552. **การประเมินผลกระทบจากการแพร่กระจายและเพลิงไหม้ที่เกิดจากการรั่วไหลของถังเอทานอล**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขันทอง สุนทราภา [3].2556. **ความปลอดภัยในกระบวนการเคมี.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร

สุเนตร มูลทา [4]. **การชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง** แหล่งที่มา http://ie.pit.ac.th/sunetr/images/data/safety_engineering/chapter6_risk.pdf. 15 พฤษภาคม 2560

U.S. Environmental Protection Agency. 2006. **ALOHA® Areal Locations of Hazardous Atmospheres (user's manual)**

Ranjana Ganguly, Mohammed Al-Faraj and Gretchen Hancock [5].2017. **Introducing Scenario Based Audit – A Risk Based Approach to Auditing**. Society of Petroleum Engineers

Daniel A. Crowl & Joseph F. Louvar [6].2011.**Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications (3rd Edition)**. Prentice Hall

การจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลที่ยั่งยืนโดยวิธี Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses

Solid waste management in sustainable marine tourism using Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses method

สุชานุช ชูสุวรรณ
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
E-mail: suchanuch01@hotmail.com
สุขุมา ชิตาภรณ์พันธุ์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
E-mail: sukhuma.ch@wu.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวเป็นอุตสาหกรรมหลักสำคัญในการสร้างรายได้ให้แก่ประเทศไทยที่มีการขยายตัวร้อยละ 15.4 จากนักท่องเที่ยวจำนวน 35,381,210 คน ในปีพ.ศ. 2560 ทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจากการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวที่เพิ่มขึ้นและปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเล จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทบทวนแนวทางการจัดการขยะในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลอย่างยั่งยืน โดยใช้เครื่องมือ Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses (DPSIR) เป็นตัวชี้วัด พบว่าการจัดการขยะมูลฝอยในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการตอบสนอง (Response) ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องรวมถึงตัวนักท่องเที่ยวเองด้วย โดยผลของการวิเคราะห์มีแรงขับเคลื่อน (Driving Force) สภาวะกดดัน (Pressure) ของการจัดการความยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติในแหล่งท่องเที่ยวในอนาคต โดยอนุรักษ์ ป้องกัน และฟื้นฟูเพื่อไม่ให้ทรัพยากรเสื่อมโทรม ทุกภาคส่วนต้องมีส่วนร่วมในการลดขยะมูลฝอย คัดแยกขยะมูลฝอยที่ต้นทาง เพิ่มประสิทธิภาพการเก็บรวบรวม ขนส่ง บำบัดและกำจัดขยะมูลฝอยโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ควรมีแนวทางในการนำขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้งเพื่อสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนหรือบำรุงรักษาพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ ร่วมกับการใช้กฎหมายหรือกำหนดกฎระเบียบและมาตรการในการเข้าพื้นที่ การจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งแวดล้อมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ: การจัดการขยะมูลฝอย, ขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยว, แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเล, การท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน, DPSIR

ABSTRACT

Tourism industry is a key industry in generating revenue for Thailand, which grew by 15.4% from 35,381,210 tourists in the year 2017. The rising number of tourists causes the decline of natural resources and increase in environmental problems especially solid waste problem from marine tourism. The objective is to study and review sustainable waste management in sustainable marine tourism using the Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses (DPSIR) method. The waste management in each area is different depending on the response of the relevant agencies as well as the tourist behaviors. The effect of driving force is the pressure of sustainability of natural resources in the future tourist sites, preserving and preventing the degradation of resources. All sectors must contribute to reduce amounts of waste particularly source reduction by separation to reduce the impacts on humans and the environment. In addition, collection, transportation, treatment and disposal of solid waste have to be improved by relevant agencies. Recycle of solid waste can generate income for the community as well as conserve the natural resources. Furthermore, environmental laws or regulations should be implemented to controlling environmental problems.

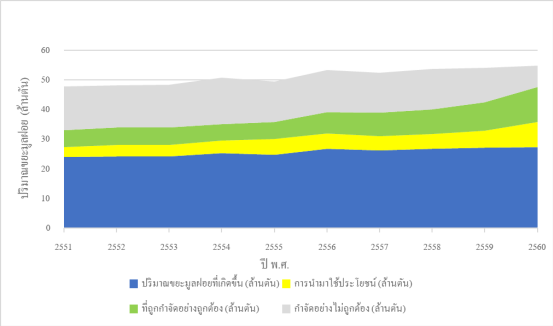
Keywords: Solid waste management, Solid waste in tourism, Marine tourism, Sustainable tourism, DPSIR

1. บทนำ

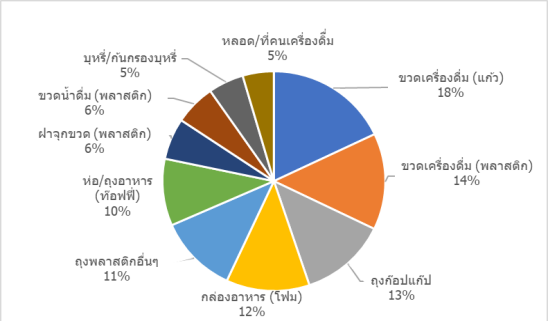
อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวถือเป็นอุตสาหกรรมหลักสำคัญที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศไทยที่มีการขยายตัวร้อยละ 15.4 (สำนักยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค, 2561) จากจำนวนนักท่องเที่ยวที่เดินทางมายังประเทศไทยจำนวน 35,381,210 คน (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2561) อาจกล่าวได้ว่าการท่องเที่ยวมีความสำคัญต่อการพัฒนาของประเทศด้วยการยกระดับคุณภาพและเพิ่มความหลากหลายของสินค้าและบริการด้านการท่องเที่ยวให้มีมาตรฐานยิ่งขึ้นซึ่งส่งผลต่อสภาพความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นของประชาชน เช่น ธุรกิจโรงแรม ภัตตาคาร การคมนาคมและขนส่ง ที่ก่อให้เกิดการจ้างงาน สร้างรายได้ และกระตุ้นเศรษฐกิจของท้องถิ่น อย่างไรก็ตามการพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและปริมาณนักท่องเที่ยว แต่ขาดความสมดุลของการพัฒนาอย่างยืน กล่าวคือ มุ่งเน้นพัฒนาเฉพาะด้านเศรษฐกิจและสังคม แต่ไม่พัฒนาสิ่งแวดล้อมที่เป็นทรัพยากรสำคัญของการท่องเที่ยว ซึ่งการพัฒนาอย่างยั่งยืนควรพัฒนาทั้งสามด้านให้ดำเนินการไปอย่างมีประสิทธิภาพ มิเช่นนั้นจะเกิดปัญหาตามมา อาทิ ขยะล้นเมือง สิ่งแวดล้อมเสื่อมโทรม ทั้งจากการก่อสร้างที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอย การจัดการขยะมูลฝอยไม่มีประสิทธิภาพมากพอ กิจกรรมของการท่องเที่ยว อีกทั้งขาดการสร้างจิตสำนึกในการอนุรักษ์ทรัพยากรเพื่อให้มีความยั่งยืน แม้จะมีนโยบายที่ต้องการให้นักท่องเที่ยวนำขยะกลับไปด้วย เนื่องจากในพื้นที่มีขีดจำกัดของการจัดการขยะมูลฝอยด้วยสาเหตุอยู่ในเขตพื้นที่ป่าต้นน้ำและขาดงบประมาณในการจัดการ กลับกลายเป็นว่านักท่องเที่ยวนำขยะมูลฝอยดังกล่าวตั้งทิ้งไว้ (ทีมข่าวภูมิภาคโพสต์ทูเดย์, 2560) ทำให้มีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างเป็นจำนวนมากซึ่งส่งผลต่อสภาพแวดล้อมและความเป็นอยู่ของมนุษย์หากไม่มีการจัดการที่ถูกต้อง อาทิ เกาะมุกที่มีการจัดการแบบครัวเรือน ซึ่งกำจัดกันเองของบ้านแต่ละหลัง

ด้วยการเผากลางแจ้ง การขุดหลุมฝัง ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล (วรพจน์, 2552) โดยจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทั้งดิน น้ำ และอากาศ

ปัญหาขยะล้นเมืองนับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมในระดับโลก ซึ่งประเทศไทยติดอันดับ 1 ใน 10 ของประเทศที่มีปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกมากที่สุด (Jenna *et al*., 2015) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคและแหล่งอาหารของสัตว์นำโรคที่ส่งผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ปัญหากลิ่นเหม็นรำคาญ แหล่งน้ำเน่าเสียจากการพัดพาของขยะมูลฝอยลงสู่แหล่งน้ำซึ่งจะส่งผลกระทบแบบระบบห่วงโซ่ จากรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2560 พบว่า ปริมาณของขยะมูลฝอยมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้น 14.4 % ใน พ.ศ. 2551 พบว่า มีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 23.93 ล้านตัน คิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่ 1.03 กิโลกรัม/คน/วัน และใน พ.ศ. 2560 พบว่ามีปริมาณขยะมูลฝอยประมาณ 27.37 ล้านตัน คิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยที่ 1.13 กิโลกรัม/คน/วัน ซึ่งขยะมูลฝอยเหล่านี้ถูกนำกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ประมาณ 8.51 ล้านตัน ส่วนที่เหลือนำไปกำจัดอย่างถูกต้องประมาณ 11.69 ล้านตัน และขยะมูลฝอยอีกประมาณ 7.17 ล้านตัน (รูปที่ 1) จะถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น การเทกอง การเผากลางแจ้ง การเผาในเตาเผาขนาดเล็กที่ไม่มีระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ และการลักลอบทิ้งในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งยังไม่รวมถึงขยะมูลฝอยที่ตกค้างประมาณ 5.34 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยในทะเลที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวประมาณ 1.3 ล้านตัน พบขยะพวกพลาสติกมากที่สุด (รูปที่ 2) โดยการจัดการขยะมูลฝอยในปัจจุบันเป็นภาระหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นซึ่งนิยมใช้เทคโนโลยีในการกำจัดขยะมูลฝอย เช่น การเผาในเตาเผา การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล เป็นต้น ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ปลายทางไม่ได้คำนึงถึงสาเหตุที่แท้จริงของการเกิดขยะมูลฝอย ดังนั้นการจัดการขยะมูลฝอยอาจใช้การบูรณาการหรือผสมผสานระหว่างหลักการ Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses (DPSIR) และขยะมูลฝอยเข้าด้วยกัน โดยขยะมูลฝอยเป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดความกดดันต่อพืช สัตว์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และการตอบสนองของภาครัฐหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ช่วยสร้างกลยุทธ์ในการจัดการของเสีย (Anupam *et al*., 2012)



รูปที่ 1 สถานการณ์ขยะมูลฝอย พ.ศ.2551-2560
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ (2561)



รูปที่ 2 สถานการณ์ขยะทะเล พ.ศ.2561
ที่มา : กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง (2561)

ในการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาและทบทวนแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลอย่างยั่งยืน รวมทั้งนโยบายและมาตรการการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยว เพื่อให้ทุกภาคส่วน

เข้ามามีส่วนร่วมอย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับนิยามของการท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน ด้วยการทำให้เกิดการพัฒนาอย่างสมดุลทั้ง 3 มิติ คือ ด้านเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยใช้หลักการ Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses (DPSIR) ที่ผ่านการรับรองโดย European Environment Agency (EEA, 2018) เป็นตัวชี้วัด ด้วยการวิเคราะห์กิจกรรมของมนุษย์ที่เป็นตัวขับเคลื่อนในการสร้างสภาวะกดดันแก่สิ่งแวดล้อมที่ส่งผลให้ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนไปจึงถูกนำมาใช้ประกอบการกำหนดนโยบายในการแก้ปัญหาตลอดจนป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้น

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและทบทวนแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลภาคใต้ของประเทศไทยอย่างยั่งยืน โดยใช้เครื่องมือ Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses (DPSIR) เป็นตัวชี้วัด

3. ประเภทแหล่งท่องเที่ยว

การท่องเที่ยวของประเทศไทยพัฒนามาตั้งแต่ พ.ศ.2467 อดีตเป็นการท่องเที่ยวเพื่อชมธรรมชาติและสถานที่ราชการ ปัจจุบันแหล่งท่องเที่ยวของประเทศไทยมีทั้งทางธรรมชาติ ทางศิลปวัฒนธรรม และทางศาสนาที่เป็นจุดดึงดูดนักท่องเที่ยวในภูมิภาคใกล้เคียง โดยส่วนใหญ่แล้วนิยมเที่ยวในแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่ติดชายฝั่งทะเลทางภาคใต้ของประเทศไทย ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นคาบสมุทรที่มีทะเลขนาบอยู่ 2 ด้าน คือ ด้านอ่าวไทย และด้านทะเลอันดามัน

4. การจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเล

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทยมีนโยบายส่งเสริมการท่องเที่ยวในธรรมชาติ ทำให้แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรเกินขีดจำกัด การขยายตัวของชุมชนเมือง สถานประกอบการในแหล่งท่องเที่ยวที่ส่งผลให้ปริมาณขยะมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเสื่อมโทรมของทรัพยากร อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณนักท่องเที่ยวควรมีการตอบสนอง (Response) ด้วยการวางแผนและเตรียมความพร้อมในการจัดการกับปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาขยะมูลฝอยตกค้างและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ซึ่งกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยมีความแตกต่างกันตามลักษณะของพื้นที่แหล่งท่องเที่ยว โดยลักษณะของแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติจำแนกออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศ แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศทางทะเล แหล่งท่องเที่ยวเชิงนิเวศธรณีวิทยา แหล่งท่องเที่ยวเชิงเกษตร และแหล่งท่องเที่ยวเชิงดาราศาสตร์ (Tourism of World, 2018)

4.1 พื้นที่ราบชายฝั่งทะเล ปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยส่วนใหญ่เกิดจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วจากกิจกรรมการท่องเที่ยว ขีดจำกัดที่เป็นสภาวะกดดัน (Pressure) ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเรื่องขาดแผนรองรับการจัดการขยะมูลฝอย สถานที่กำจัดและงบประมาณในการกำจัดขยะมูลฝอย ที่มีปัจจัยทั้งประชากรในพื้นที่ ผู้ประกอบการ นักท่องเที่ยว ขาดความตระหนัก ความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการจัดการขยะมูฝอยที่แหล่งกำเนิด ควบคู่กับการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติ

ซึ่งการจัดการขยะมูลฝอยมิใช่เป็นเพียงหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเพียงหน่วยเดียว แต่เป็นหน้าที่ของทุกภาคส่วนที่ต้องเข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารจัดการ แสดงความคิดเห็น การออกข้อกำหนด กฎ เกณฑ์ต่างๆ ที่เป็นการตอบสนอง (Response) ต่อทรัพยากรธรรมชาติ เพื่อให้การจัดการขยะมูลฝอยเป็นไปอย่างมีระเบียบ อาทิ พื้นที่ปากเมง จังหวัดตรัง ที่มีอุปสรรคของการมีส่วนร่วมอนุรักษ์สภาพแวดล้อม เนื่องจากขาดความร่วมมือจากประชาชน เจ้าหน้าที่ไม่มีการประชาสัมพันธ์ รวมทั้งขาดความจริงจังในการสนับสนุนให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมในการอนุรักษ์ ชุษา (2544) กล่าวว่าเจ้าหน้าที่ควรประชาสัมพันธ์ข่าวสารและกิจกรรมให้มากขึ้น เพิ่มการเอาใจใส่ชุมชนด้วยการลงพื้นที่ ควรกำหนดพื้นที่ดูแลรับผิดชอบ เขตพื้นที่ทำกิน เขตพื้นที่อนุรักษ์ รวมทั้งเร่งกำหนดมาตรการในการจัดระเบียบผู้ประกอบการริมชายหาดอย่างจริงจัง เช่น ใช้หลักการ “ผู้ก่อมลพิษเป็นผู้จ่าย” (Polluter Pay Principle) ที่กำหนดอัตราค่าบริการจัดเก็บขยะมูลฝอย แจกหรือจำหน่ายถุงใส่ขยะมูลฝอย หลักการ “ระวังไว้ก่อน” (Precaution Principle) ด้วยการกำหนดพื้นที่ในการรับประทานอาหาร (จิตรตี, 2554) เพื่อปกป้องและรักษาทรัพยากรธรรมชาติ รวมทั้งจัดการทรัพยากรที่ตอบสนองต่อความจำเป็นต่อทางเศรษฐกิจ สังคม และความงามทางสุนทรียภาพ ภายใต้การมีส่วนร่วมกับทุกภาคส่วนตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในด้านการเติบโตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ส่วนบ้านปากบารา จังหวัดสตูล ที่เปิดรับฤดูกาลท่องเที่ยวด้วยกิจกรรม CSR นำทีมกลุ่มอาสาเก็บขยะริมชายหาดและใต้ท้องทะเลตามแนวปะการัง เพื่อคืนความสดใสให้กับธรรมชาติอีกทั้งเป็นการอนุรักษ์และสร้างจุดขายทางการท่องเที่ยวในรูปแบบ Green Tourism อีกด้วย โดยผู้เข้าร่วมกิจกรรมจะได้สัมผัสกับความสมบูรณ์ทางธรรมชาติ (RealityThailand., 2013) ทั้งยังพัฒนาการท่องเที่ยวเชิงนิเวศให้ได้มาตรฐานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ที่ส่งเสริมให้มีการอนุรักษ์ ฟื้นฟู ป้องกัน และใช้ประโยชน์จากทรัพยากรทางธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ

4.2 พื้นที่หมู่เกาะ ในส่วนของพื้นที่ที่มีบริบทเป็นเกาะหรือพื้นที่ห่างชายฝั่งมักประสบปัญหาในการกำจัดขยะมูลฝอยที่อาจมีการกำจัดในพื้นที่เกาะหรือใช้การขนส่งเพื่อนำมากำจัดบนชายฝั่ง ขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นนั้นๆ ที่ศึกษาจากลักษณะของขยะมูลฝอย ปริมาณขยะมูลฝอย เทคโนโลยีในการจัดการขยะมูลฝอย โดยพื้นที่เกาะมุก จังหวัดตรัง ส่วนใหญ่เป็นขยะรีไซเคิลและขยะทั่วไปที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน และใช้การจัดการขยะมูลฝอยแบบครัวเรือนที่เผากลางแจ้งและขุดหลุมฝังซึ่งผิดหลักสุขาภิบาล ที่นำไปสู่สาเหตุหรือสภาวะกดดัน (Pressure) มลพิษทางสิ่งแวดล้อมทั้งดิน น้ำ และอากาศ จึงได้พิจารณาการจัดการขยะมูลฝอยของพื้นที่เกาะมุกที่เป็นการตอบสนอง (Responses) ในอนาคตไว้ว่าควรมีการคัดแยกขยะมูลฝอย จัดตั้งศูนย์รับขยะรีไซเคิลและขุดหลุมฝังกลบส่วนกลางที่ถูกสุขลักษณะขึ้น (วรพจน์, 2552) เพื่อเป็นการสร้างสภาพแวดล้อมที่ดี ลดมลพิษจากการเผา อีกทั้งยังสร้างสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่อีกด้วย ส่วนพื้นที่เกาะเสม็ด จังหวัดระยองที่มีปริมาณนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นจึงได้ศึกษาความเหมาะสมและออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอย เนื่องจากพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยเก่าไม่สามารถรองรับขยะมูลฝอยในอนาคตได้ประกอบกับการนำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ด้วยการทำปุ๋ยหมักแต่เกิดปัญหากลิ่นเหม็นและปุ๋ยที่ผลิตใช้ประโยชน์ได้ในวงจำกัด จึงมีแนวทางในการจัดการสองแนวทางคือ การขนย้ายขยะมูลฝอยทั้งหมดที่จัดเก็บได้ไปกำจัดที่ศูนย์กำจัดขยะ อบจ.ระยอง หรือ การจัดการขยะที่จัดเก็บได้บนเกาะก่อน ส่วนที่เหลือส่งไปกำจัดที่ศูนย์กำจัดขยะ อบจ.ระยอง ซึ่งควรใช้แนวทางที่สองที่สามารถคัดแยกขยะมูลฝอยออกมาใช้ประโยชน์อีกครั้งและเป็นการลดภาระการทำงานของศูนย์กำจัดขยะ อบจ.ระยอง (เกียรติไกร, 2557) ในส่วนของขยะย่อยสลายได้ควรนำมาทำปุ๋ยชีวภาพที่เป็น

ระบบปิดเพื่อป้องกันปัญหาทางด้านกลิ่น และแปรรูปขยะเป็นพลังงานโดยการใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ ส่วนเกาะพีพี จังหวัดกระบี่ จะใช้การรวบรวมขยะมูลฝอยบนพื้นที่เกาะแล้วขนส่งมายังท่าเรือน้ำลึก คลองจิหลาด ก่อนจะส่งต่อมายังหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองกระบี่ที่สามารถรองรับขยะมูลฝอยได้จนถึงปี พ.ศ 2566 (ศาลากลางจังหวัดกระบี่, 2561) แต่กระบวนการขนส่งจะดำเนินการตามการขึ้นลงของระดับน้ำทะเล หากเรือบรรทุกเกิดขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้จะส่งผลให้มีขยะมูลฝอยตกค้างทันที (อมราวดี, 2556) และใช้แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยโดยกระบวนการมีส่วนร่วม การรณรงค์ การคัดแยกขยะมูลฝอย การใช้นโยบายและแผนการพัฒนาเข้าร่วมด้วย เพื่อสร้างการยอมรับและลดความขัดแย้งกับประชาชนในพื้นที่ ทั้งนี้เทศบาลเมืองกระบี่ตอบสนอง (Response) ด้วยการวางแผนในการปรับปรุงเทศบัญญัติท้องถิ่นรวมทั้งปรับปรุงกฎหมายทางด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่คลอบคลุมถึงขยะมูลฝอย เพื่อก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า หรือเมืองท่องเที่ยวอย่างยั่งยืน

กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช (2561) ได้ประกาศการห้ามนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single-use plastics) เข้าไปในเขตอุทยานแห่งชาติ ที่เป็นการตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมที่กำลังเสื่อมโทรม

4.3 ความแตกต่างของการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเล

การจัดการขยะมูลฝอยของแต่ละพื้นที่ที่ใช้แนวทางการดำเนินการที่แตกต่างกันย่อมเกิดผลทั้งข้อดีและข้อเสีย ซึ่งการจัดการในพื้นที่หมู่เกาะจะมีข้อเสียเกี่ยวกับการบรรทุก หากมีอุปกรณ์ในการบรรทุกที่จำกัดจะส่งผลต่อปริมาณขยะมูลฝอยที่ตกค้าง การขนส่งหากเกิดอุบัติเหตุที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้อาจส่งผลให้เกิดการตกหล่นของขยะมูลฝอยลงในทะเลที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีวิชิตในท้องทะเล และค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการขนส่งในพื้นที่หมู่เกาะจะใช้ระยะเวลาที่นานกว่าพื้นที่ชายฝั่งทะเล ดังนั้นการจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่หมู่เกาะควรมีการตอบสนอง (Response) การวางแผนงานและกลไกการทำงานที่ครอบคลุมทุกประเด็น ทั้งงบประมาณ ประสิทธิภาพ บุคลากร และกฎหมายทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง ส่วนพื้นที่ชายฝั่งทะเลจะมีข้อจำกัดที่เป็นความกดดัน (Pressure) ในการจัดหาพื้นที่เพื่อใช้เป็นหลุมฝังกลบขยะมูลฝอย เนื่องจากปัจจุบันพื้นที่ฝังกลบขยะมูลฝอยที่ดำเนินการอยู่ไม่สามารถรองรับปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ ในส่วนของการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ด้วยการทำปุ๋ยหมักชีวภาพมักจะไม่ค่อยได้รับการร่วมมือในบางพื้นที่เนื่องจากเป็นระบบที่เปราะบางที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศหากไม่มีระบบการทำงานที่ดีพอ อีกทั้งพื้นที่ทั้งสองมีลักษณะเป็นแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลที่อาจส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมได้

5. แนวทางการดำเนินงานที่นำไปสู่ความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลอย่างยั่งยืน

การดำเนินงานเพื่อการจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยนั้นส่วนใหญ่เป็นภาระหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น แต่การจัดการให้ได้ประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืนนั้นไม่สามารถดำเนินการได้เพียงองค์กรเดียว ต้องใช้ความร่วมมือจากทุกภาคส่วน ซึ่งแนวทางการดำเนินงานที่นำไปสู่ความสำเร็จในการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืนโดยใช้การวิเคราะห์สถานการณ์ขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเล โดยใช้เครื่องมือ Driving Force-Pressures-States-Impact-Responses (DPSIR) เป็นตัวชี้วัด (รูปที่ 3) ดังนี้

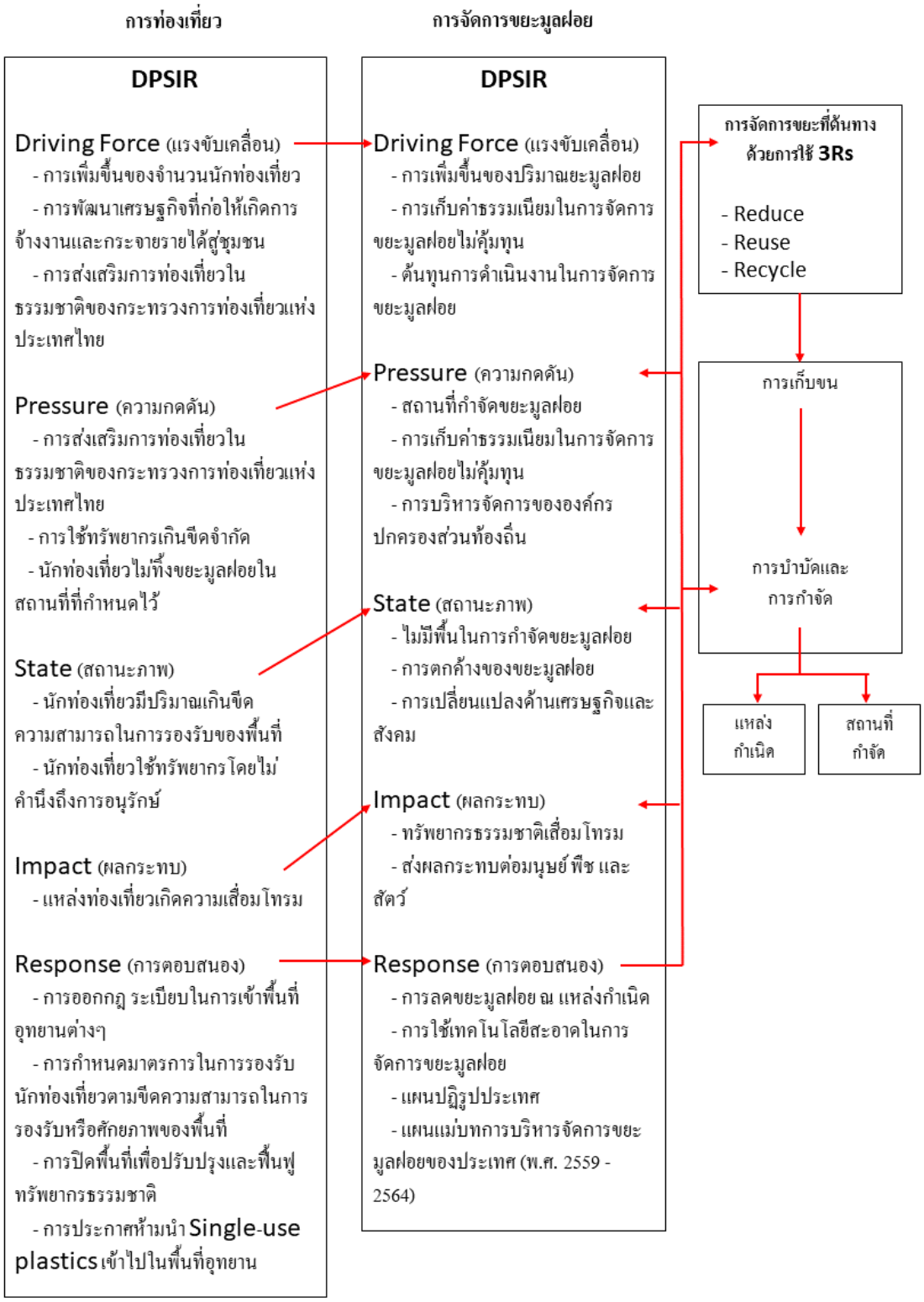
แรงขับเคลื่อน (Driving Force) ที่สำคัญในการจัดการขยะมูลฝอย ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของจำนวนนักท่องเที่ยว การพัฒนาเศรษฐกิจที่ก่อให้เกิดการจ้างงานและกระจายรายได้สู่ชุมชน และต้นทุนการดำเนินงานในการจัดการขยะมูลฝอย ที่ก่อให้เกิดขยะมูลฝอยตลอดจนวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยที่ก่อให้เกิดการสร้างพลังงานมาหมุนเวียนใช้

สภาวะกดดัน (Pressure) ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นสาเหตุให้ทรัพยากรธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป ได้แก่ การใช้พื้นที่ในการกำจัดขยะมูลฝอย การเก็บค่าธรรมเนียมในการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่คุ้มทุน การบริหารจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

สถานภาพทรัพยากร (States) ที่ต้องการแก้ไขหรือปรับปรุงให้ดีขึ้น ได้แก่ กระทรวงการท่องเที่ยวส่งเสริมการท่องเที่ยวในธรรมชาติ ทำให้แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลเป็นที่นิยมเพิ่มขึ้นก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรเกินขีดจำกัด นักท่องเที่ยวใช้ทรัพยากรโดยไม่คำนึงถึงการอนุรักษ์

ผลกระทบ (Impact) ผลลัพธ์ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม ได้แก่ ทรัพยากรธรรมชาติเสื่อมโทรม เช่น คุณภาพน้ำ ดิน และอากาศเสื่อมโทรม ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ พืช และสัตว์ ที่เกิดจากกระบวนการจัดการขยะมูลฝอย

การตอบสนอง (Response) เป็นการวัดระดับการตอบสนองของสังคมที่มีต่อสภาพของทรัพยากร ด้วยการดำเนินการของภาครัฐที่ใช้วิธีการจัดการ การวางแผนงาน หรือการใช้กฎหมาย ได้แก่ การลดขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด การใช้เทคโนโลยีสะอาดในการจัดการขยะมูลฝอยที่ก่อให้เกิดแหล่งพลังงานที่สร้างรายได้ให้แก่องค์กร การออกกฎระเบียบในการเข้าพื้นที่อุทยานต่างๆ อาทิ การกำหนดมาตรการในการรองรับนักท่องเที่ยวตามขีดความสามารถในการรองรับหรือศักยภาพของพื้นที่ การปิดพื้นที่เพื่อปรับปรุงและฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ การใช้แผนปฏิรูปประเทศและแผนแม่บทการบริหารจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ (พ.ศ.2559-2564)



รูปที่ 3 DPSIR ของการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลที่ยั่งยืน

ดังนั้นแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติทางทะเลอย่างยั่งยืนควรเริ่มต้นที่แหล่งกำเนิด ด้วยการจัดการขยะที่ต้นทางหรือแหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยให้มีปริมาณที่น้อยลง ด้วยการใช้หลัก 3Rs (Reduce Reuse Recycle) ส่วนผู้ประกอบการควรมีวิธีปฏิบัติด้วยการงดใช้ถุงพลาสติกหลายชั้น เพิ่มการทำงานในส่วนของการคัดแยก การเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยที่เกิดจากสถานประกอบการ ติดป้ายรณรงค์ ขอความร่วมมือลูกค้าในการคัดแยกขยะ การทิ้งขยะให้ถูกที่ และจัดหาวัสดุ ภาชนะรองรับขยะมูลฝอย เพื่อรองรับการคัดแยกขยะมูลฝอยภายในสถานประกอบการ กรณีที่เป็นนักท่องเที่ยว ควรปฏิบัติตนด้วยการปฏิเสธการรับถุงพลาสติกหรือกล่องบรรจุภัณฑ์ การใช้ตะกร้าหรือปิ่นโตแทนการใช้กล่องโฟม ทิ้งขยะให้ถูกที่และถูกถัง ใช้ทรัพยากรอย่างรู้คุณค่า เช่น การรับประทานอาหารให้หมด การใช้ผ้าเช็ดหน้าแทนกระดาษทิชชู และสุดท้ายองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรออกข้อกำหนดของท้องถิ่นว่าด้วยเรื่องการจัดการขยะมูลฝอยเพื่อให้สถานประกอบการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยตามหลักเกณฑ์อย่างถูกวิธี ส่งเสริมและสนับสนุนกิจกรรมการลดปริมาณขยะมูลฝอยในครัวเรือน สถานประกอบการ และสถานที่ต่างๆ เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น จัดหาและสนับสนุนภาชนะรองรับขยะมูลฝอยเพื่อการคัดแยกขยะมูลฝอยในสถานที่ต่างๆ

6. สรุปผล

จากสถานการณ์ขยะมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณนักท่องเที่ยวจำนวน 35,381,210 คน ในปี พ.ศ. 2560 ที่เป็นแรงขับเคลื่อนให้สถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่งเกิดความเสื่อมโทรม ทัศนวิสัยไม่น่ามอง และเป็นแหล่งอาหารของสัตว์พาหะนำโรค องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรตอบสนอง (Response) ด้วยการจัดการขยะมูลฝอยในแหล่งท่องเที่ยวอย่างยั่งยืนด้วยการใช้แนวทางที่เหมาะสมกับปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอย อีกทั้งพิจารณาปัจจัยทางด้านงบประมาณและบุคลากรด้วย ซึ่งกระบวนการจัดการขยะมูลฝอยอย่างยั่งยืนควรเริ่มตั้งแต่จุดเริ่มต้นของการเกิดขยะมูลฝอยตลอดจนการบำบัดและกำจัดขั้นสุดท้าย โดยการมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ด้วยการปลูกฝังจิตสำนึกแก่ประชาชน ผู้ประกอบการ และนักท่องเที่ยวในการลดขยะมูลฝอยตั้งแต่ต้นทาง ด้วยหลัก 3R (Reduce Reuse Recycle) ขอความร่วมมือจากทุกภาคส่วนในการคัดแยกขยะมูลฝอย เพิ่มประสิทธิภาพการเก็บรวบรวม เก็บกัก ขนส่ง และกำจัดขยะมูลฝอยเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ควรนำขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้วมาใช้ประโยชน์ใหม่เพื่อสร้างรายได้แก่ชุมชนหรือบำรุงรักษาพื้นที่แหล่งท่องเที่ยวธรรมชาติ ร่วมกับการใช้กฎหมายหรือกำหนดกฎระเบียบและมาตรการในการเข้าพื้นที่ การจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งแวดล้อมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง .2561 Retrieved from http://tcc.dmcr.go.th/thaicoastalcleanup/report

กรมควบคุมมลพิษ. 2561. รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. *2560*. กรุงเทพฯ: Retrieved from http://infofile.pcd.go.th/Waste/Wst20180821_02.pdf

กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช .2561. ห้ามนำบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดใช้ครั้งเดียวทิ้ง (Single-use plastics) เข้าไปในเขตอุทยานแห่งชาติ, (2561).

กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. 2561. สถานการณ์ท่องเที่ยว เดือนธันวาคม ปี *2560*. Retrieved from

เกียรติไกร อายุวัฒน์. 2557. โครงการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบระบบการจัดการขยะมูลฝอยบนพื้นที่เกาะเสม็ดขององค์การบริหารส่วนจังหวัดระยอง. วารสาริชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, (2), 1-8.

จิตรตี มณีไสย์. 2554. การวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบของขยะมูลฝอยเพื่อเป็น แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่อุทยานแห่งชาติ น้ำตกเจ็ดสาวน้อย จังหวัดสระบุรี(บัณฑิตวิทยาลัย), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ชุษา เสาวภาคย์ . 2544. การมีส่วนร่วมของประชาชนท้องถิ่นในการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมชายหาด กรณีศึกษาหาดปากเมง อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง. กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย

ทีมข่าวภูมิภาคโพสต์ทูเดย์. 2560. "จิตสำนึกการท่องเที่ยว" ทางเดียวแก้ปัญหาขยะเกลื่อน. Retrieved from https://www.posttoday.com/social/local/524872

วรพจน์ รัตนพันธุ์. 2552. การศึกษาปริมาณและองค์ประกอบของขยะในพื้นที่เกาะมุกด์ จังหวัดตรัง. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 46-53.

ศาลากลางจังหวัดกระบี่. 2561. การบริหารจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่ตำบลอ่าวนาง. Retrieved from http://demo-cv.com/demoweb/krabi/describe/cate/34/?parent_id=5

สำนักยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค. 2561. ภาวะเศรษฐกิจไทยไตรมาสที่สอง ปี *2561* และแนวโน้มปี *2561*. Retrieved from http://www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=7861

อมราวดี วิจิตร. 2556. การมีส่วนร่วมของผู้ประกอบการที่พักในการจัดการสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐานที่พักเพื่อการท่องเที่ยว กรณีศึกษา เกาะล้าน จังหวัดชลบุรี. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)), สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Anupam Khajuria, T. M., Takashi Machimura. 2012. Life cycle assessment of municipal solid waste with regard to DPSIR framework: Evidence from India. Environmental Science An Indian Journal, 7(2), 41-46.

European Environment Agency (EEA), 2018. DPSIR. Retrieved from https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/dpsir

Jenna R. Jambeck, R. G., Chris Wilcox, Theodore R. Siegler,, & Miriam Perryman, A. A., Ramani Narayan, Kara Lavender Law.2015. Plastic waste inputs from land intothe ocean. *Science, 347*(6223), 768-771.

RealityThailand. 2013. สตูล…รักเล กับโครงการเปิดรับฤดูการท่องเที่ยวเก็บขยะใต้ทะเลตามแนวปะการัง ในโครงการเปิดฟ้าอันดามัน สวรรค์สตูล ครั้งที่ 13. Retrieved from http://realitythailand.com/satun-ruklae13/

Tourism of World. 2018. รูปแบบการท่องเที่ยว Retrieved from https://tourismatbuu.wordpress.com

การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต

A Comparison of Accuracy Position of Orthophoto Derived Network – based Real Time Kinematic and Static Survey

อัณณพ หักฤทธิ์ศึก, วิชัย พันธนะหิรัญ และธารวิทย์ เสวกดรุณทร

หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินวิโรฒ

E-mail: survey4758@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยเรื่องการเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต เป็นการศึกษาโดยใช้กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดโดยใช้วิธีรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต และเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ จากการสร้างภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก

ผลการวิจัยพบว่าภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต ตามมาตรฐานความถูกต้องของ FGDC (NSSDA) มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.402 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.695 เมตร เมื่อใช้หลักเกณฑ์พิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS พบว่า สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,200 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:600 ในงานชั้นที่ 2 ส่วนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.45 เมตร เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.779 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 เมื่อนำผลการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่เปรียบเทียบกัน พบว่า ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถนำมาใช้สร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 ขึ้นไป ทดแทนการสร้างภาพออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต ทดแทนการสร้างภาพถ่ายออร์โธด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต

คำสำคัญ: ภาพถ่ายออร์โธ, ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที, การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย

ABSTRACT

The Project on Research into the Subject of Comparison of Accuracy Position of Orthophoto Derived Network – based Real Time Kinematic and Static Survey is study by using a process of photogrammetry for generating Orthophoto, which employs coordinate values of ground control points obtained from network – based real time kinematic and the static survey, and comparing results of positional accuracy, and contemplating horizontal dislocation in relation to scales of the maps, which obtained from Orthophoto generated. The research selects the study area at Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok Province.

Results of the Research find that Orthophoto, which are generated by coordinate values of ground control points, obtained from the static survey in accordance with the accuracy standard of FGDC (NSSDA), yield a horizontal dislocation equal to 0.402 meter, and positional accuracy, at 95 percent confidence, equal to 0.695 meter. When used are criteria for contemplating horizontal dislocation in relation to scales of the maps of Orthophoto, which are generated in accordance with the accuracy standard of ASPRS, it is found to be able to generate or adjust the maps, whose scales is 1:1,200, in Class 1, and 1:600, in Class 2, Another one the Orthophoto, which are generated by coordinate values of ground control points, obtained from the network – based real time kinematic , have horizontal dislocation equal to 0.45 meter, and positional accuracy, at 95 percent confidence, equal to 0.779 meter, being able to generate or adjust the maps, whose scales is 1:1,800, in Class 1, and 1:900, in Class 2. When results of positional accuracy of Orthophoto and horizontal dislocation in relation to scales of the maps are contemplated in comparison, it is found that coordinate values of ground control points, which are obtained from the network – based real time kinematic, are able to generate or adjust the maps, whose scales is 1:1,800, in Class 1, and 1:900, in Class 2, or a smaller scale, substituting for Orthophoto, which are generated by coordinate values of ground control points obtained from the static survey

KEYWORDS: Orthophoto, Network - based Real Time Kinematic, Photogrammetry

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) คือภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากการเอียงของกล้องถ่ายภาพทางอากาศและความแตกต่างของความสูงในภูมิประเทศ ซึ่งภาพที่ได้จะแสดงลักษณะของสิ่งปกคลุมภูมิประเทศและวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลก สามารถวัดพิกัด, ทิศทาง, ระยะทาง, ขนาดและรูปร่างได้ ภาพถ่ายออร์โธนิยมใช้เพื่อการทำแผนที่ เพราะปัจจุบันภาพถ่ายออร์โธสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและแสดงข้อมูลของวัตถุที่ปรากฏบนภาพได้อย่างครบถ้วน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ เช่น เพื่อเป็นข้อมูลวิเคราะห์และแปลภาพด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, เพื่อกำหนดขอบเขตที่ดินก่อนรังวัดในภูมิประเทศจริง, เพื่อศึกษาภูมิประเทศ

สำหรับการวางผังเมือง ระบบสาธารณูปโภคและระบบขนส่ง, เพื่อวาดผังพื้นที่การรบสำหรับกำหนดยุทธวิธีทางทหาร เป็นต้น

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย (Photogrammetry) เป็นวิธีการสำรวจรังวัดเพื่อทำแผนที่และสร้างเป็นข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ โดยใช้ภาพถ่ายเป็นสื่อกลางการรังวัด สามารถกระทำได้ทั้งสองมิติและสามมิติ ซึ่งกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างเป็นภาพถ่ายออร์โธนั้น มีขั้นตอนที่สำคัญคือ 1. การวางแผนการบิน, 2. การเก็บข้อมูล, 3. การตรวจสอบข้อมูลดิบ, 4. การสำรวจจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point), 5. การจัดภาพภายใน (Interior Orientation), 6. การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation), 7. การจัดวางภาพแบบสัมพัทธ์ (Relative Orientation), 8. การจัดวางภาพแบบสัมบูรณ์ (Absolute Orientation) และ 9. การทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) แล้วจึงสร้างเป็นภาพถ่ายออร์โธได้ (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555) ซึ่งขั้นตอนการใส่ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน เพื่อใช้ยึดตรึงค่าพิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศกับภูมิประเทศจริงให้ตรงกัน ต้องใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่มีความถูกต้องสูง โดยปกติจะใช้วิธีการรังวัดแบบสถิต คือการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ตั้งรับสัญญาณดาวเทียมที่จุดควบคุมภาคพื้นดิน เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร แต่กระบวนนี้จะใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 1 - 2 ชั่วโมง ต้องตั้งรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง ตั้งที่จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่กำหนดไว้และจุดอ้างอิงที่ทราบค่าพิกัด พร้อมเปิดเครื่องสัญญาณดาวเทียมพร้อมกัน หลังจากนั้นนำข้อมูลไปประมวลผลในสำนักงานโดยอ้างอิงกับจุดที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่ง (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2559) วิธีรังวัดนี้ต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ซึ่งค่าพิกัด ต้องใช้จำนวนคนจำนวนในการตั้งและเปิดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมๆกัน ถ้ามีจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินมาก ก็จะใช้เวลาหลายวันและใช้งบประมาณสูงในการเดินทาง รวมถึงต้องวางแผนการทำงานและเข้าพื้นที่ตั้งเครื่องรับสัญญาณให้สามารถเปิดเครื่องเครื่องรับสัญญาณพร้อมกัน ซึ่งภาพถ่ายออร์โธที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว จะมีความถูกต้องสูงมากเนื่องจากใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน มีความถูกต้องในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร

ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดเพื่อช่วยให้ค่าพิกัดที่ได้สามารถลดเวลาการทำงานและความสูงต้องสูง คือ วิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (Network - based Real Time Kinematic) คือ ระบบของเครือข่ายของสถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบถาวร ประกอบด้วยสถานีควบคุม, สถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงและระบบสื่อสาร (สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่, 2558) สถานีผู้ใช้งานจะส่งค่าพิกัดตำแหน่งโดยประมาณของตัวเองไปยังศูนย์ควบคุม ต่อมาศูนย์ควบคุมจะทำการคำนวณและประมาณค่าปรับแก้จากสถานีฐานทุกสถานีสำหรับตำแหน่งโดยประมาณของสถานีผู้ใช้งาน แล้วจะคำนวณพิกัดตำแหน่งสถานีผู้ใช้งานที่ถูกต้องจากค่าปรับแก้ดังกล่าว ดังนั้น จึงเสมือนว่ามีสถานีอ้างอิงใกล้ๆ กับสถานีผู้ใช้งาน โดยใช้ระยะเวลา 1- 2 นาทีในการรังวัดและได้ค่าพิกัดในทันที ความถูกต้องที่ได้อยู่ในระดับ 1 -3 เซนติเมตร (ธีรทัต เจริญกาลัญญตา, 2552) ดังนั้นเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดแบบสถิต จะทำให้สามารถ ลดเวลาในการทำงาน ลดงบประมาณที่ต้องใช้และจำนวนแรงงานคนทำงานได้ ซึ่งในปัจจุบันหลายๆ หน่วยงานก็ได้ร่วมมือกันติดตั้งระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศ ซึ่งภาพถ่ายออร์โธที่ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว จะมีความถูกต้องต่ำกว่า เนื่องจากใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน มีความถูกต้องในระดับ 1- 3 เซนติเมตร ทำให้ต้องเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิง

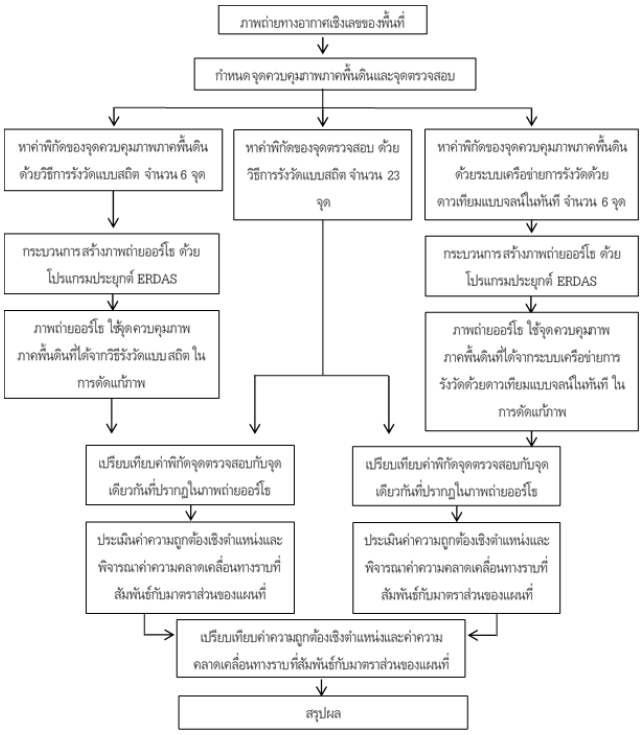
ตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ จากการสร้างภาพถ่ายออร์โธทั้งสองวิธี เพื่อหามาตราส่วนแผนที่ ที่สามารถเลือกใช้วิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มาทดแทนการรังวัดแบบสถิต ในการหาค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินเพื่อให้สามารถสร้างภาพถ่ายออร์โธได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) ศึกษาโดยใช้กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัด โดยใช้วิธีการเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต

(2) เปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ จากการสร้างภาพถ่ายออร์โธทั้งสองวิธี

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 แบบแผนการวิจัย

4.1.1. ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงวิเคราะห์ คือเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ จากการสร้างภาพถ่ายออร์โธโดยใช้วิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและวิธีการรังวัดแบบสถิต

4.1.2. มาตรฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1.2.1 มาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ (National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA) เป็นมาตรฐานที่คณะกรรมการข้อมูลภูมิศาสตร์รัฐบาลกลางประเทศสหรัฐอเมริกา (Federal Geographic Data Committee: FGDC) กำหนดขึ้นให้เป็นมาตรฐานแห่งชาติที่เกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลที่มีการอ้างอิงทางตำแหน่งบนผิวโลก มีวัตถุประสงค์ในการกำหนดวิธีการทางสถิติ และวิธีการทดสอบสำหรับการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดบนแผนที่และในฐานข้อมูลการอ้างอิงทางตำแหน่งบนผิวโลกในรูปแบบดิจิตอล ทั้งแบบราสเตอร์และเวคเตอร์ ซึ่งมาตรฐานนี้ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ความถูกต้องขั้นต่ำ มาตรฐาน NSSDA นี้ใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) เป็นค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ระหว่างค่าพิกัดของชุดข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบกับค่าพิกัดของชุดข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ณ จุดเดียวกัน ในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและแสดงเป็นค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (Federal Geographic Data Committee, 1998)

ตามมาตรฐานของ NSSDA ค่าความถูกต้องทางราบจะใช้ค่าสถิติของความถูกต้องเชิงตำแหน่งดังนี้

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum(X_{data,i} - X_{check,i})^2}{n}} \quad (4.1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum(Y_{data,i} - Y_{check,i})^2}{n}} \quad (4.2)$$

เมื่อ $RMSE_x$ คือค่า Root Mean Square Error ทางแกน x

$RMSE_y$ คือค่า Root Mean Square Error ทางแกน y

$X_{data,i}$, $Y_{data,i}$ เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ในชุดข้อมูล

$X_{check,i}$, $Y_{check,i}$ เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ที่ค่าอ้างอิงที่ได้จากการรังวัดในสนาม

N คือจำนวนจุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

i คือจุดทดสอบเริ่มจาก 1 ถึง n

$$RMSE_r = \sqrt{[RMSE_x^2 + RMSE_y^2]} \quad (4.3)$$

สำหรับการคำนวณความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถคำนวณได้จาก ดังสมการ (4.4)

$$Accuracy_r = 1.7308 * RMSE_r \quad (4.4)$$

4.1.3 มาตรฐานความถูกต้องของ สมาคมโฟโตแกรมเมตรีและการรับรู้จากระยะไกลแห่งอเมริกา (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing: ASPRS) จะประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบทั้งแนวแกน x และแกน y โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะเป็นการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ที่มีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ (ASPRS, 2015)

ตาราง 1 ความถูกต้องในแนวราบและตัวอย่างข้อมูลดิจิตอลที่มีคุณภาพความถูกต้องสูงกับข้อมูลแผนที่แนวราบ

ชั้นของค่าความถูกต้องในแนวราบของ $RMSE_x$ และ $RMSE_y$ (ซม.)	ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ($RMSE_r$) (ซม.)	ความถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ซม.)	ประมาณการค่าความละเอียดจุดภาพของภาพต้นฉบับ (ซม.)	เทียบเท่ากับมาตราส่วนแผนที่ตาม ASPRS 1990 Class 1	เทียบเท่ากับมาตราส่วนแผนที่ตาม ASPRS 1990 Class 2
20	28.3	49	10 - 20	1:800	1:400
22.5	31.8	55.1	11.3 – 22.5	1:900	1:450
25	35.4	61.2	12 – 25	1:1,000	1:500
27.5	38.9	67.3	13.8 – 27.5	1:1,100	1:550
30	42.4	73.4	15 – 30	1:1,200	1:600
45	63.6	110.1	22.5- 45	1:1,800	1:900
60	84.9	146.9	30 – 60	1:2,400	1:1,200

ที่มา: (ASPRS, 2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.

4.2 เครื่องมือในการวิจัย

4.2.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

4.2.2 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ IMAGINE Photogrammetry เป็นโปรแกรมย่อยของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE 2014

4.2.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ของ Trimble รุ่น 5700 R7 และทดสอบเทียบวัดความถูกต้องของเครื่องรับสัญญาณ ด้วยวิธี short baseline กับจุดที่ทราบค่าโดยที่ความคลาดเคลื่อนต้องไม่เกิน 5 มิลลิเมตร

4.2.4 เครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ของกรมที่ดิน

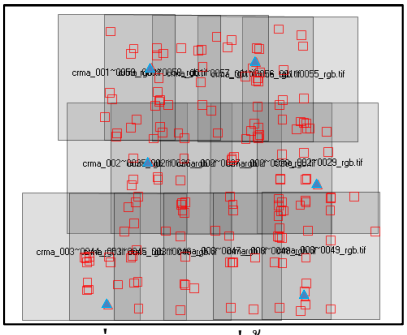
4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล และสำรวจรังวัดหาค่าพิกัดในภูมิประเทศของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

4.3.1 กำหนดพื้นที่ศึกษา

4.3.2 ขอข้อมูลดิบของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข จากกรมแผนที่ทหาร จำนวน 25 ภาพ 3 แนวบิน ครอบคลุมพื้นที่ 19.3 ตร.กม.บริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และขอใช้ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ของกรมที่ดิน บริเวณพื้นที่ศึกษา

4.3.3 กำหนดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ การกำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดินเนื่องจากการถ่ายภาพทางอากาศของกรมแผนที่ทหารจะมีการใช้เครื่องเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเพื่อใช้หาพิกัดของจุดเปิดถ่ายขณะที่บินถ่ายภาพ ค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพที่รังวัดด้วยจีพีเอสนำมาคำนวณปรับแก้เข้ากับระบบสมการ ทำให้การคำนวณปรับแก้ที่ได้มีความเชื่อถือสูง เสมือนว่ามีจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินบนอากาศกำกับภาพถ่ายทุกรูป ทำให้สามารถลดจำนวนจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555) ซึ่งภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขมี 3 แนวบินจึงกำหนดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินไว้ที่ 6 จุด และการกำหนดจุดตรวจ ตามมาตรฐานของ ASPRS ได้กำหนดจำนวนจุดตรวจสอบที่จะต้องใช้ในการพื้นที่ศึกษา ในการวิจัยครั้งนี้พื้นที่ศึกษาครอบคลุม 19.3 ตร.กม. จะต้องมีจุดตรวจสอบอย่างน้อย 20 จุด (ASPRS, 2015) ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 23 จุดตรวจสอบ



พื้นที่ศึกษา (ตร.กม.)	จำนวนจุดตรวจสอบ
น้อยกว่า 500	20
501 - 750	25
751 - 1000	30
1001 - 1250	35
1251 - 1500	40

ภาพที่ 4.3.4 แสดงที่ตั้งจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินจำนวน 6 จุด (ภาพซ้าย) แสดงจำนวนจุดตรวจสอบตามมาตรฐานของ ASPRS (ภาพขวา)

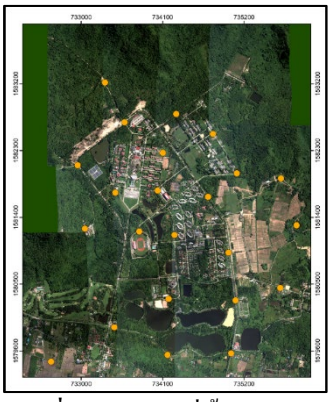
4.3.4 รังวัดหาค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิตและด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที จำนวน 6 จุด

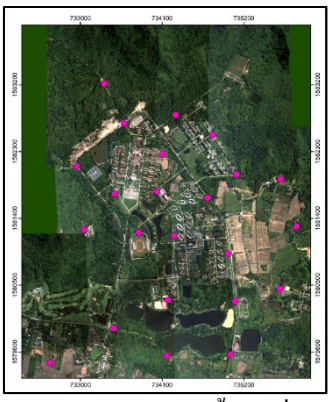
4.3.5 รังวัดหาค่าพิกัดของจุดตรวจสอบ ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต จำนวน 23 จุด

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

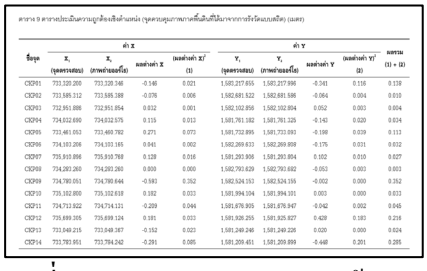
4.4.1 นำภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขและค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ผ่านกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย จะได้เป็นภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต และระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที





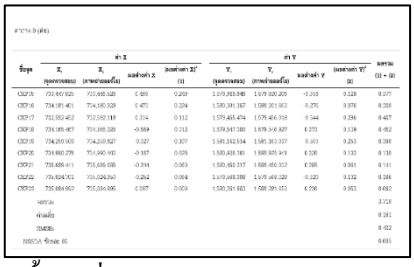
ภาพที่ 4.4.1 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิต (ภาพซ้าย) และที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (ภาพขวา)

4.4.2 เปรียบเทียบค่าพิกัดจุดตรวจสอบและจุดเดียวกันที่ปรากฏบนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต พร้อมทั้งประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่



ตาราง 9 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิต) (เมตร)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม
	X_1 (จุดตรวจสอบ)	X_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า X	(ผลต่างค่า X)^2 (1)	Y_1 (จุดตรวจสอบ)	Y_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า Y	(ผลต่างค่า Y)^2 (2)	(1) + (2)
CKP01	733,320.200	733,320.346	-0.146	0.021	1,581,217.655	1,581,217.996	-0.341	0.116	0.139
CKP02	733,585.312	733,585.388	-0.076	0.006	1,582,881.522	1,582,881.586	-0.064	0.004	0.010
CKP03	732,951.888	732,951.854	0.032	0.001	1,582,552.856	1,582,552.804	0.052	0.003	0.004
CKP04	734,032.690	734,032.575	0.115	0.013	1,581,761.182	1,581,761.325	-0.143	0.020	0.034
CKP05	733,461.053	733,460.782	0.271	0.073	1,581,732.895	1,581,733.093	-0.198	0.039	0.113
CKP06	734,103.206	734,103.165	0.041	0.002	1,582,269.633	1,582,269.808	-0.175	0.031	0.032
CKP07	735,910.896	735,910.768	0.128	0.016	1,581,293.906	1,581,293.804	0.102	0.010	0.027
CKP08	734,293.280	734,293.280	0.000	0.000	1,582,793.620	1,582,793.682	-0.063	0.003	0.003
CKP09	734,790.051	734,790.044	-0.993	0.352	1,582,524.153	1,582,524.155	-0.002	0.000	0.352
CKP10	735,192.860	735,192.618	0.192	0.037	1,581,994.104	1,581,994.101	0.003	0.000	0.037
CKP11	734,713.922	734,714.121	-0.199	0.044	1,581,876.905	1,581,876.947	-0.042	0.002	0.046
CKP12	735,699.365	735,699.124	0.181	0.033	1,581,926.255	1,581,925.827	0.428	0.183	0.216
CKP13	733,049.215	733,049.367	-0.152	0.023	1,581,249.246	1,581,249.226	0.020	0.000	0.024
CKP14	733,793.951	733,794.242	-0.291	0.085	1,581,209.491	1,581,209.899	-0.408	0.201	0.285

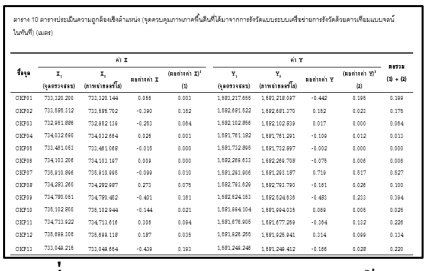


ตาราง 9 (ต่อ)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม
	X_1 (จุดตรวจสอบ)	X_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า X	(ผลต่างค่า X)^2 (1)	Y_1 (จุดตรวจสอบ)	Y_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า Y	(ผลต่างค่า Y)^2 (2)	(1) + (2)
CKP15	733,461.625	733,461.325	0.300	0.090	1,579,203.948	1,579,203.203	-0.745	0.555	0.645
CKP16	734,181.401	734,180.328	0.073	0.224	1,580,391.367	1,580,391.963	-0.596	0.356	0.580
CKP17	732,552.452	732,552.119	0.334	0.112	1,579,465.474	1,579,466.918	-1.444	2.086	2.197
CKP18	734,185.457	734,185.328	-0.129	0.212	1,579,947.388	1,579,946.927	0.461	0.213	0.452
CKP19	734,259.900	734,260.827	0.327	0.107	1,581,362.534	1,581,362.937	-0.403	0.253	0.360
CKP20	734,860.276	734,860.493	-0.197	0.039	1,580,828.781	1,580,828.943	-0.162	0.132	0.130
CKP21	735,686.411	735,686.586	-0.194	0.063	1,580,460.317	1,580,460.353	-0.036	0.001	0.141
CKP22	735,824.553	735,824.350	-0.204	0.064	1,579,468.388	1,579,468.488	-0.100	0.132	0.196
CKP23	735,684.663	735,684.896	0.097	0.009	1,580,391.663	1,580,391.653	0.010	0.000	0.009
ผลรวม									3.709
ค่าเฉลี่ย									0.181
RMSE$_{xy}$									0.452
NSSDA ที่ระดับ 95									0.885

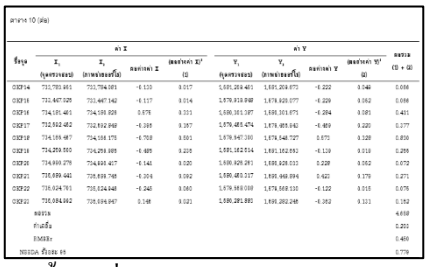
ภาพที่ 4.4.2 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิต)

4.4.3 เปรียบเทียบค่าพิกัดจุดตรวจสอบและจุดเดียวกันที่ปรากฏบนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที พร้อมทั้งประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่



ตาราง 10 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที) (เมตร)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม (3 + 6)
	X_1 (จุดตรวจสอบ)	X_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า X	(ผลต่างค่า X)² (3)	Y_1 (จุดตรวจสอบ)	Y_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า Y	(ผลต่างค่า Y)² (6)	
CKP01	732,320.200	732,320.144	0.056	0.003	1,692,217.665	1,692,218.097	-0.442	0.195	0.199
CKP02	732,598.312	732,598.752	-0.440	0.192	1,692,691.522	1,692,691.270	0.252	0.063	0.379
CKP03	732,981.888	732,982.116	-0.253	0.064	1,692,102.868	1,692,102.839	0.017	0.000	0.064
CKP04	734,072.696	734,072.664	0.028	0.001	1,691,781.182	1,691,781.291	-0.109	0.012	0.013
CKP05	733,481.061	733,481.069	-0.015	0.000	1,691,712.866	1,691,712.867	-0.002	0.000	0.000
CKP06	734,931.206	734,931.167	0.039	0.000	1,692,264.653	1,692,264.758	-0.075	0.006	0.006
CKP07	735,913.866	735,913.966	-0.099	0.010	1,691,261.908	1,691,261.197	0.710	0.517	0.527
CKP08	734,293.266	734,292.987	0.273	0.075	1,692,793.629	1,692,793.790	-0.161	0.026	0.100
CKP09	734,795.061	734,795.462	-0.401	0.161	1,692,524.353	1,692,524.538	-0.185	0.034	0.194
CKP10	735,152.906	735,152.944	-0.044	0.021	1,691,994.104	1,691,994.038	0.066	0.005	0.026
CKP11	734,713.922	734,713.818	0.104	0.094	1,691,678.906	1,691,677.269	-1.364	1.112	0.206
CKP12	735,694.108	735,694.118	0.197	0.038	1,691,926.266	1,691,926.941	0.314	0.099	0.134
CKP13	733,048.218	733,048.654	-0.439	0.192	1,691,248.246	1,691,248.412	-0.166	0.028	0.220



ตาราง 10 (ต่อ)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม (3 + 6)
	X_1 (จุดตรวจสอบ)	X_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า X	(ผลต่างค่า X)² (3)	Y_1 (จุดตรวจสอบ)	Y_2 (ภาพถ่ายออร์โธ)	ผลต่างค่า Y	(ผลต่างค่า Y)² (6)	
CKP14	732,783.461	732,784.081	-0.620	0.017	1,691,204.401	1,691,204.673	-0.222	0.049	0.066
CKP15	732,447.925	732,447.542	-0.117	0.014	1,679,918.948	1,679,920.077	-0.229	0.052	0.066
CKP16	734,191.461	734,191.828	0.678	0.011	1,690,301.397	1,690,301.671	-0.264	0.081	0.401
CKP17	732,512.452	732,512.948	-0.395	0.157	1,679,481.474	1,679,481.642	-0.169	0.028	0.177
CKP18	734,189.487	734,188.179	-0.708	0.501	1,679,547.390	1,679,548.727	0.673	0.328	0.830
CKP19	734,259.560	734,259.989	-0.429	0.228	1,691,162.014	1,691,162.893	-0.139	0.019	0.266
CKP20	734,999.279	734,999.417	-0.141	0.020	1,690,626.261	1,690,628.031	0.228	0.052	0.072
CKP21	735,699.641	735,699.745	-0.104	0.012	1,690,480.317	1,690,480.894	0.421	0.179	0.271
CKP22	735,024.761	735,024.948	-0.248	0.061	1,679,568.038	1,679,568.155	-0.122	0.015	0.076
CKP23	735,694.962	735,694.947	0.148	0.021	1,690,281.993	1,690,282.248	-0.252	0.131	0.152
ผลรวม									4.658
ค่าเฉลี่ย									0.203
RMSE$_r$									0.450
NSSDA ที่ระดับ 95									0.779

ภาพที่ 4.4.3. ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที)

4.4.4 เปรียบเทียบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งและค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ ของภาพออร์โธทั้งสองภาพ

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิตและระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ได้ทำการศึกษาบริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ กำหนดและรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินจำนวน 6 จุดด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิตและวิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที นำค่าพิกัดที่ได้มาใช้ดัดแก้ภาพถ่ายด้วยวิธีโฟโตแกรมเมตรี จากนั้นกำหนดและรังวัดจุดตรวจสอบด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต จำนวน 23 จุด กระจายตัวครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา ต่อมานำภาพถ่ายออร์โธที่ได้มาประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาความความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ ทั้ง 2 ภาพ และเปรียบเทียบผลที่ได้ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการศึกษาศึกษาโดยใช้กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดโดยใช้วิธีการเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต พบว่า ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากวิธีรังวัดทั้งสองวิธีสามารถนำมาใช้กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายออร์โธได้ โดยไม่พบปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิตและระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที โดยใช้หลักเกณฑ์การประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐานของ NSSDA พบว่า ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.402 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.695 เมตร ส่วนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.45 เมตร เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.779 เมตร และเมื่อใช้หลักเกณฑ์พิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS พบว่า ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต สามารถจัดว่าอยู่ในชั้นของความถูกต้องทางราบที่ 0.3

เมตร ที่กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบไม่เกิน 0.424 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 0.734 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,200 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:600 ในงานชั้นที่ 2 ส่วนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถจัดว่าอยู่ในชั้นของความถูกต้องทางราบที่ 0.45 เมตร ที่กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบไม่เกิน 0.636 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 1.101 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2

6. อภิปรายผล

เมื่อนำผลการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิตและระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีมาเปรียบเทียบกัน พบว่า ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถนำมาใช้สร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 ขึ้นไป แทนการสร้างภาพออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต

การใช้ประโยชน์ สามารถนำไปทดแทนการรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต กล่าวคือ เมื่อต้องการสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 หรือมาตราส่วนเล็กกว่า 1:1,800 ขึ้นไป จะสามารถใช้วิธีการรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มาใช้ได้ซึ่งการทำงานจะใช้เวลาในการรังวัดน้อยกว่า, ใช้บุคลากรและอุปกรณ์การรังวัดตัวเดียวในการรังวัดแต่ละครั้ง ส่งผลให้ลดงบประมาณและเวลาในการทำงานลง

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) การกำหนดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินหรือจุดตรวจสอบนั้น เมื่อกำหนดจุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการเข้าสำรวจรังวัดในภูมิประเทศ บางจุดเมื่อเข้าในภูมิประเทศแล้ว พบว่ามีสิ่งบดบังสัญญาณดาวเทียม หรือจุดที่เลือกไว้ไม่เหมาะสมในการตั้ง เช่น เป็นเนินเขา, พื้นที่ต่ำ, มีแนวต้นไม้สูง เป็นต้น ดังนั้นในการกำหนดจุดตรวจสอบ ควรที่จะเลือกเผื่อไว้ประมาณ 5 – 10 จุด

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ผู้ที่สนใจจะศึกษานำไปต่อยอด อาจจะนำโปรแกรมประยุกต์ที่ต่างออกไปมาใช้ หรือใช้วิธีรังวัดด้วยวิธีอื่นหรือวิธีที่มีความทันสมัยยิ่งขึ้น มาศึกษาวิจัย เปรียบเทียบและพัฒนาต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

ไพศาล สันติธรรมนนท์. 2555. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (Digital photogrammetry). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีรทัต เจริญกาลัญญตา. 2552. “การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย : ผลการศึกษาเบื้องต้น”. วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 23, 70: 45-56.

วิชัย เยี่ยงวีรชน. 2559. การสำรวจทางวิศวกรรม 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่. 2558. “คู่มือปฏิบัติงานระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย” กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย.

ASPRS. 2015. “ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.” 81(3), 1-26.

Federal Geographic Data Committee. 1998. “Geospatial Positioning Accuracy Standards” FGDC-STD-007.3-1998. www.fgdc.er.usgs.gov.

การเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นและการปล่อยมลพิษของรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 กับน้ำมันไบโอดีเซล B20 ตามระยะการเปลี่ยนถ่าย

COMPARISON OF LUBRICANT AND EMISSIONS OF LARGE DIESEL TRUCKS USING B7 DIESEL COMPARED WITH BIODIESE B20 ACCORDING TO THE TRANSITION PERIOD

พัทธิโรฒ ชาบุญมี[1]

[1]นักศึกษามหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: chone.9989@gmail.com

เชษฐวุฒิ ภูมิพิพัฒน์พงศ์[2]

[2]รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลังเครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: chedthawutp@kmutnb.ac.th

วรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์[3]

[3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: wannalak.l@cit.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วิเคราะห์การปล่อยมลพิษและการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิง B7 เปรียบเทียบกับ B20 โดยนำผลการทดสอบของ กรมธุรกิจพลังงาน จากโครงการศึกษาการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในรถบรรทุกขนาดใหญ่ เพื่อทำการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่น ปริมาณโลหะเจือปนและการปล่อยมลพิษของรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล B20 ตามระยะการเปลี่ยนถ่าย ที่ระยะ 0-100,000 กิโลเมตร

จากผลการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นตามระยะเปลี่ยนถ่าย ของรถบรรทุก 2 ยี่ห้อ พบว่า รถบรรทุกทั้งสองยี่ห้อที่ใช้เชื้อเพลิง B20 ปล่อยควันดำน้อยกว่าเชื้อเพลิง B7 อัตราการเปลี่ยนแปลงตามระยะการเปลี่ยนถ่ายอยู่ที่ 0.72% - 0.3% ในส่วนของผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่น

พบว่า ค่าความหนืด ความเป็นด่าง ค่าความเป็นกรด ระดับการเกิดออกซิเดชันและเขม่า รวมถึงปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันหล่อลื่นโดยรวมรถบรรทุกทั้งสองยี่ห้อมีผลทางคุณสมบัติใกล้เคียงกัน

คำสำคัญ: ไบโอดีเซล, คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่น, พลังงานทดแทน

ABSTRACT

This research analyzes the emission and degradation of lubricant in B7 diesel engines compared to B20. Department of Energy Business A 20% biodiesel project in a large truck to compare the change in physical properties of the lubricant. Methane contamination and emissions of large diesel trucks using B7 diesel compared to biodiesel B20 at 0-100,000 km.

According to the results of the analysis of the conversion rate of two brands of truck lubricants, that both trucks using B20 fuel had less black smoke than B7 fuel. The conversion rate was 0.72% - 0.3% of the physical properties of the lubricant, viscosity, alkalinity, acidity Oxidation and soot levels including the amount of metal in the lubricant. Both trucks have similar characteristics.

Keywords: biodiesel, lubricant properties, renewable energy

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันประเทศต่างๆทั่วโลกกำลังประสบปัญหาเรื่องสภาวะโลกร้อนอันเนื่องมาจากมลพิษ ส่วนหนึ่งเป็นผลต่อเนื่องมาจากปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น จึงทำหลายประเทศตระหนักถึงเรื่องความมั่นคงด้านพลังงานและเชื้อเพลิง น้ำมันปิโตรเลียมซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักของยานพาหนะและเครื่องจักร มีแนวโน้มจะหมดไปจากโลกและส่งผลให้มีมลพิษเพิ่มขึ้นตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิง รวมทั้งมีการออกกฎหมายด้านการควบคุมมลพิษไอเสียที่เข้มงวดขึ้น (กรมธุรกิจพลังงาน, 2550: 1-90) จึงทำให้หลายประเทศทั่วโลกคิดค้นวิจัยเชื้อเพลิงทางเลือกใหม่ๆ เพื่อมาทดแทนน้ำมันดิบที่จะหมดไปจากโลกในอนาคตและลดปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงจากซากฟอสซิล (กิตติ สถาพรประสาธน์ และ ธวัชชัยชัย เจริญคุณ, 2014:305-319) ประเทศไทยเป็นประเทศผลิตผลทางการเกษตรจำนวนมากและมีศักยภาพสูงในการผลิตวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อช่วยลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ จึงทำเกิดการพัฒนาเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก โดยไบโอดีเซลคือน้ำมันดีเซลผสมกับเอทานอล สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้ (ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และ อนุกูล จันทร์แก้ว,2553: 1-123) แต่เนื่องจากการใช้ไบโอดีเซลทำให้มีผลต่อต่อเครื่องยนต์และคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยและทำการทดสอบการใช้งานเชื้อเพลิงไบโอดีเซลทั้งด้านมลพิษ สมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ เพื่อเป็นข้อมูลสนับสนุนการใช้ไบโอดีเซลต่อไป

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า อัตราสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิงดีเซลและเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B20 มีค่าใกล้เคียงกัน ค่าควันดำของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล B20 ใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์ไม่เกินร้อยละ 45 ตามมาตรฐาน ด้านสมรรถนะเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B20 ส่งผลให้กำลังของเครื่องยนต์ลดต่ำลงร้อยละ 1.7 เมื่อเทียบ

กับดีเซล B0 แต่ถ้าเทียบกับไบโอดีเซล B5 พบว่า ไบโอดีเซล B20 ให้กำลังต่ำกว่า ประมาณร้อยละ 0.9 (กรมธุรกิจพลังงาน, 2557: 1-184)

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกับค่ามาตรฐาน ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นและการปล่อยมลพิษของรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล B20 ตามระยะการเปลี่ยนถ่าย โดยการนำผลการทดสอบการใช้ไบโอดีเซลของกรมธุรกิจพลังงานโครงการศึกษาผลการใช้ไบโอดีเซลที่มีสัดส่วนร้อยละ 20 โดยปริมาตร ในรถบรรทุกขนาดใหญ่ด้วยการใช้งานจริง 100,000 กม. ที่ได้ดำเนินการไปแล้วนั้น มาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นและการปล่อยมลพิษของรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 เปรียบเทียบกับน้ำมันไบโอดีเซล B20 ตามระยะการเปลี่ยนถ่าย เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สร้างความเชื่อมั่นให้แก่ผู้บริโภค และผู้ผลิตรถยนต์ต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อวิเคราะห์ผลของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิง B7 เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง B20 ในด้านอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นและการปล่อยมลพิษ

3. แนวคิดทฤษฎีและวิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจาก รายงานผลการศึกษาฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาการใช้ดีเซลหมุนเร็วที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ20 ในรถบรรทุกขนาดใหญ่ ซึ่งกรมธุรกิจพลังงานได้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานแล้วในตารางที่ 1 พบว่ามีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน ทางผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อ โดยวิธีการหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงและคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิง B7 และ B20 ที่มีผลต่อการปล่อยควันดำและการสึกหรอของเครื่องยนต์โดยวิเคราะห์ได้จากการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานของคุณสมบัติและสิ่งเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น

คุณสมบัติ	ควันดำ	ความหนืด	ปริมาณเขม่า	ความเป็นด่าง	ความเป็นกรด	ปริมาณน้ำ	ระดับออกซิเดชัน	เหล็ก	อะลูมิเนียม	ทองแดง	ตะกั่ว
เกณฑ์มาตรฐาน	≤ 45 %	อยู่ในช่วง ± 20%	≤ 3%	ลดลง ≤ 50%	เพิ่มขึ้น ≤ 3 (mgKOH/g)	≤ 0.2 (%wt)	≤ 25 ($Abs.cm^{-1}$)	≤ 100 ppm	≤ 40 ppm	≤ 40 ppm	≤ 40 ppm

ที่มา : กรมธุรกิจพลังงาน

3.1 การเลือกข้อมูลจากงานวิจัย

การคัดเลือกข้อมูลจากงานวิจัยของกรมธุรกิจพลังงานเพื่อนำมาวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงและใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีหลักการดังนี้

รถบรรทุกยี่ห้อ I จะนำข้อมูลที่ระยะทาง 20,000 40,000 60,000 80,000 และ 100,000 กิโลเมตร หรือทุกๆระยะ 20,000 กิโลเมตรของการทดสอบ มาทำการวิเคราะห์ เพราะเชื้อเพลิง B7 และ B20 มีระยะการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นเท่ากันคือ 20,000 กิโลเมตร ส่วนรถบรรทุกยี่ห้อ V จะนำข้อมูลที่ระยะทาง 20,000 60,000 และ 100,000 กิโลเมตร มาวิเคราะห์ เพราะว่า รถที่ใช้เชื้อเพลิง B7 และ B20 มีระยะเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นไม่เท่ากัน โดย B7 เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุกๆ 40,000 กิโลเมตร ส่วน B20 เปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุกๆ 20,000 กิโลเมตรตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ดังนั้น เพื่อให้สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกันได้ จึงนำข้อมูลที่ระยะทาง 20,000 60,000 และ 100,000 กิโลเมตร มาใช้ในการวิเคราะห์ เพราะว่าที่ระยะทางดังกล่าวน้ำมันหล่อลื่นของรถที่ใช้เชื้อเพลิง B7 และ B20 ผ่านการใช้งานมาแล้ว 20,000 กิโลเมตรเท่ากัน และนำข้อมูลที่ได้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง โดยใช้สูตรการหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงในข้อ 3.2 โดยแต่ละค่าจะมีวิธีการคำนวณต่างกัน จะได้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสมบัติและปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่น

3.2 การคำนวณหาอัตราเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง

การคำนวณหาอัตราเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเป็นการแปลงข้อมูลดิบที่ได้จากการทดสอบภาคสนามของกรมธุรกิจพลังงาน เพื่อเปรียบเทียบค่าระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใหม่และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วหลังจากระยะวิ่งทดสอบทุกๆ 20,000 กิโลเมตร แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและปริมาณโลหะเจือปนลดลงหรือเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่ามีการเสื่อมสภาพไปเท่าไหร่ หลังจากใช้งาน ซึ่งมีหลักการดังนี้

3.2.1 การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของความหนืด, TBN และ TAN

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง} = 100 - \left[\frac{100}{\text{ค่าที่ได้จากน้ำมันเก่า}}\right] \times \text{ค่าที่วัดได้ตอนเปลี่ยนถ่าย (ค่าหลังผ่านการใช้งาน)}$$

$$\text{Ex. เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความหนืด} = 100 - \left[\frac{100}{10.8}\right] \times 10.35$$

$$= 4.167\ \%$$

ดังนั้น เมื่ออยากทราบว่าเหลืออยู่กี่เปอร์เซ็นต์จะได้ 100 – 4.167 = 95.83 %

3.2.2 การหาผลต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณเขม่า ปริมาณน้ำ ระดับออกซิเดชัน และปริมาณโลหะ

เนื่องจากค่า เขม่า ปริมาณน้ำ ระดับออกซิเดชัน และปริมาณโลหะ ไม่สามารถคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงได้โดยตรงจึงต้องนำผลต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ได้ในข้อ 3.2.2 ไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานในข้อ 3.2.3

ผลต่างการเปลี่ยนแปลง = ค่าที่วัดได้หลังจากวิ่งทดสอบ (น้ำมันเก่า) – ค่าเริ่มต้นก่อนวิ่งทดสอบ (น้ำมันใหม่)

Ex. ผลต่างการเปลี่ยนปริมาณทองแดง = 13 ppm – 0.1 ppm = 12.9

ดังนั้น ผลต่างของการเปลี่ยนแปลงปริมาณทองแดง = 12.9 ppm

3.2.3 การหาเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ เขม่า ระดับออกซิเดชัน และปริมาณโลหะ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง}\ (\%) = \frac{100(\%)}{\text{เกณฑ์มาตรฐาน}} \times \text{ผลต่างของปริมาณที่เปลี่ยนแปลง (ppm)}$$

Ex. ปริมาณน้ำ $(\%) = \frac{100\ (\%)}{2{,}000\ (\text{ppm})} \times 317(\text{ppm})$

$= 15.85\ \%$

ดังนั้น เมื่ออยากทราบว่าหลังจากใช้งานสมบัติเหลืออยู่กี่เปอร์เซ็นต์ 100 – 15.85 = 84.15 %

3.3 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ประกอบด้วยตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงปริมาณ (จรัญ จันทลักขณา, 2540: 90-95) งานวิจัยนี้นำสหสัมพันธ์มาใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นและการปล่อยมลพิษตามระยะการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นเทียบกับระยะทาง เพื่อดูแนวโน้มการเสื่อมสภาพ

$$r_{xy} = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{\{[N\sum x^2 - (\sum x)^2][N\sum Y^2 - (\sum Y)^2]\}}}$$

โดยสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ (r) จะมีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1

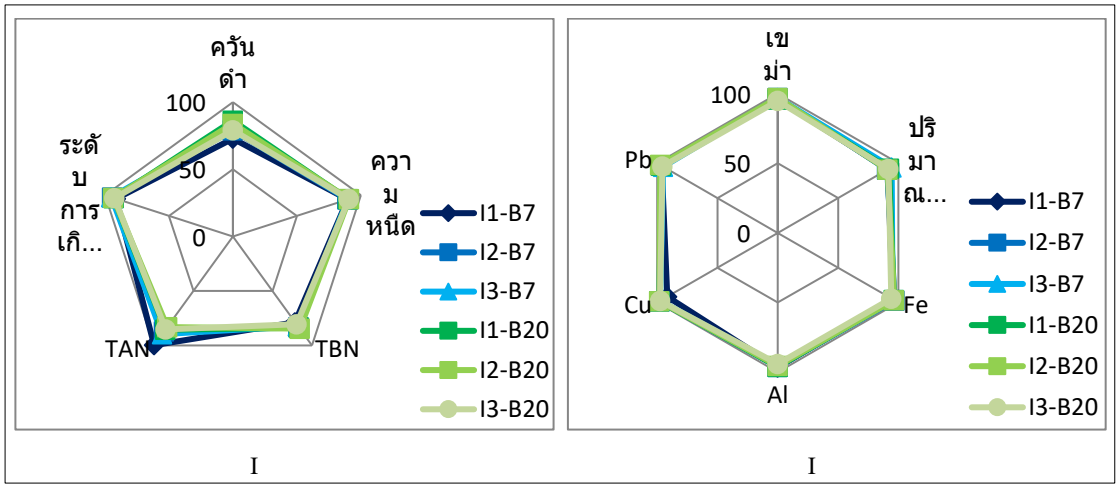
ถ้า r = 1 หมายความว่า ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงบวกแบบตามกันโดยสมบูรณ์

ถ้า r = 0 หมายความว่า ตัวแปร X และ Y ไม่มีมีความสัมพันธ์เชิงกัน

ถ้า r = -1 หมายความว่า ตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์เชิงลบกันโดยสมบูรณ์

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง

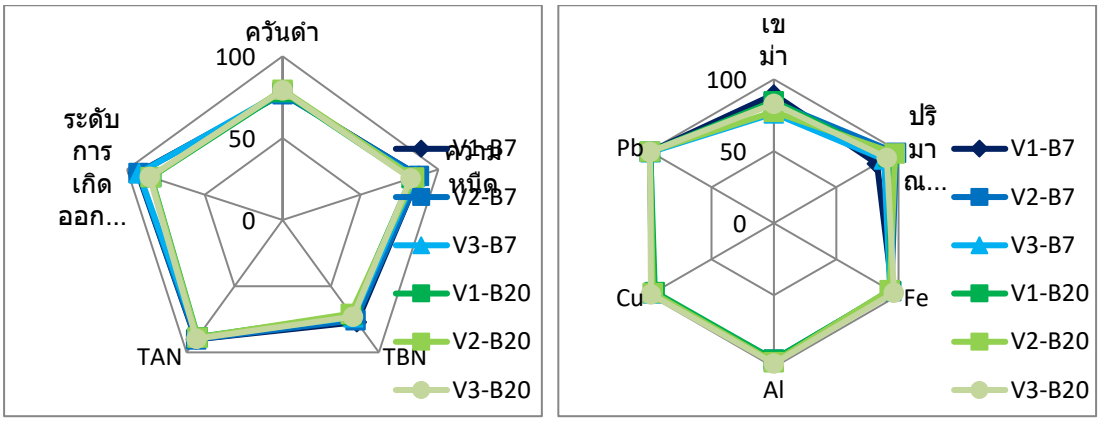


ภาพที่ 1 ส่วนต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยตั้งแต่ระยะทาง 20,000-100,00 km ของรถ I1-I3 B7 และของรถ I1-I3 B20

การปล่อยมลพิษในด้านควันดำ พบว่า เมื่อใช้เชื้อเพลิง B20 ปล่อยควันดำโดยเฉลี่ย น้อยกว่า B7 อยู่ที่ 0.72% - 0.3% ทั้งยี่ห้อ I และยี่ห้อ V แสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2

การเสื่อมสภาพทางคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ยี่ห้อ I เมื่อใช้เชื้อเพลิง B20 มีการเสื่อมสภาพของความหนืด ความเป็นด่าง ระดับการเกิดออกซิเดชัน น้อยกว่า B7 อยู่ที่ 0.19 %, 1.6 %, 0.13 % ตามลำดับ และพบว่า B20 มีการเสื่อมสภาพของคุณสมบัติด้าน ความเป็นกรด ปริมาณเขม่า ปริมาณน้ำ มากกว่า B7 อยู่ที่ 7.43 %, 0.002 %, 0.45 % ตามลำดับ ส่วนยี่ห้อ V เมื่อใช้เชื้อเพลิง B20 พบว่า มีการเสื่อมสภาพของคุณสมบัติด้าน ความหนืด ความเป็นด่าง ความเป็นกรด ปริมาณเขม่า และ ระดับการเกิดออกซิเดชัน สูงกว่า B7 เท่ากับ 3.55 %, 3.49 %, 0.68 %, 0.04 % และ1.94 % ตามลำดับ ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน แสดงในภาพที่ 1และภาพที่ 2

ปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น พบว่า ยี่หอ I เมื่อใช้เชื้อเพลิง B20 พบว่า มีปริมาณเหล็ก ปริมาณทองแดง ปริมาณตะกั่ว น้อยกว่า B7 เท่ากับ 0.29 %, 0.86 %, 0.22 % ตามลำดับ และพบว่า B20 มีปริมาณอะลูมิเนียมมากกว่า B7 อยู่ที่ 0.18 % ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ส่วนรถยี่ห้อ V เมื่อใช้เชื้อเพลิง B20 พบว่า มีปริมาณอะลูมิเนียม และ ปริมาณตะกั่ว น้อยกว่า B7 เท่ากับ 0.11 % และ 0.1 % ตามลำดับ และพบว่า B20 มี



V V

ภาพที่ 2 ส่วนต่างของอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยตั้งแต่ระยะทาง 20,000-100,00 km ของรถ V1-V3 B7 และรถ V1-V3 B20

4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่า r ของอัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ r / คุณสมบัติด้านต่างๆ		I		V	
		B7	B20	B7	B20
มลพิษ	ควันดำ	0.614	0.650	0.247	0.362
คุณสมบัติทางกายภาพ	ความหนืด	0.896	-0.292	-0.842	0.839
	ปริมาณเขม่า	-0.525	-0.548	-0.964	0.918
	ความเป็นด่าง	0.695	-0.749	-0.655	0.999
	ความเป็นกรด	0.442	-0.842	0.4298	0.939
	ปริมาณน้ำ	0.271	0.701	0.177	0.804
	ระดับออกซิเดชัน	-0.339	-0.953	0.364	0.458
ปริมาณโลหะ	เหล็ก	0.930	-0.418	0.992	0.963
	อะลูมิเนียม	0.707	-0.929	0.833	0.986
	ทองแดง	0.776	0.154	0.997	0.951
	ตะกั่ว	0.928	0.028	0.822	1

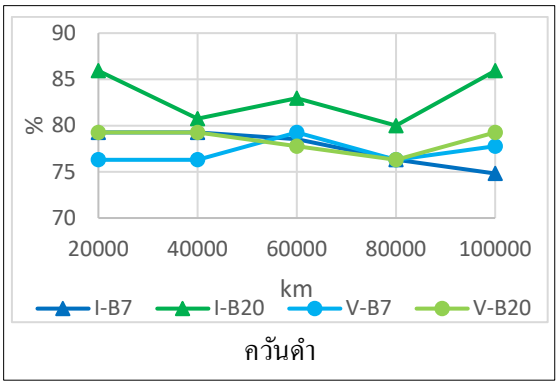
จากตารางที่ 2ได้ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

1. ควันดำ ผลวิเคราะห์ พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 กับ B7 มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 แสดงว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นมีการปล่อยควันดำต่ำลง และ ยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 กับเชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 แสดงว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของควันดำ

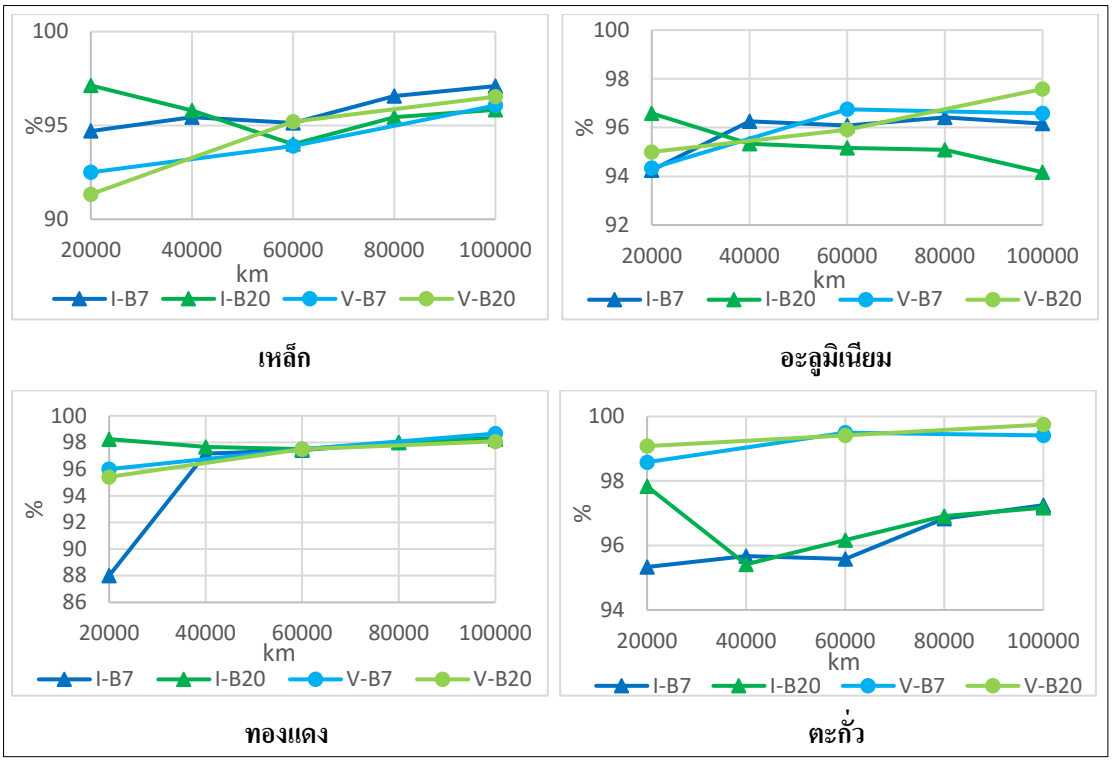
2. การเสื่อมสภาพทางคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่น ผลวิเคราะห์ พบว่า ค่าความหนืด ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความหนืด เชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความหนืดมีการเสื่อมสภาพน้อยลง และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความหนืดมีการเสื่อมภาพน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความหนืดมีการเสื่อมภาพมากขึ้น ส่วนปริมาณเขม่า พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 กับ B7 มีค่า r ระหว่าง -0.5 ถึง -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นปริมาณเขม่าจะมากขึ้นตาม และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นมีปริมาณเขม่าน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณเขม่ามากขึ้น ส่วนค่าความเป็นด่าง พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r ระหว่าง -0.5 ถึง -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นด่างมีการเสื่อมสภาพมากขึ้น เชื้อเพลิง B7 มีค่า r ระหว่าง 0.5-0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นด่างมีการเสื่อมสภาพน้อยลง และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นด่างมีการเสื่อมสภาพน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r ระหว่าง -0.5 ถึง -0.8 หมายความว่าค่าความเป็นด่างมีการเสื่อมสภาพมากขึ้นตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น ส่วนความเป็นกรด พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r ระหว่าง -0.5 ถึง -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นมีมากขึ้น เชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรดมีน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่า

ระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความเป็นกรด ส่วนปริมาณน้ำ พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r ระหว่าง 0.5-0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นมีปริมาณน้ำน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 ซึ่งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำ และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าระยะทางเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณน้ำน้อยลงเมื่อ เชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ และระดับการเกิดออกซิเดชัน พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นระดับการเกิดออกซิเดชันมีมากขึ้น เชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 แสดงให้ว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการเกิดออกซิเดชัน และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นระดับการเกิดออกซิเดชันมีน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับการเกิดออกซิเดชัน

3. ปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น ผลวิเคราะห์ พบว่า ปริมาณเหล็ก ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเหล็ก เชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า 0.8 คือระยะทางเพิ่มขึ้นปริมาณเหล็กน้อยลง และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นมีปริมาณเหล็กน้อยลง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นมีปริมาณเหล็กน้อยลง

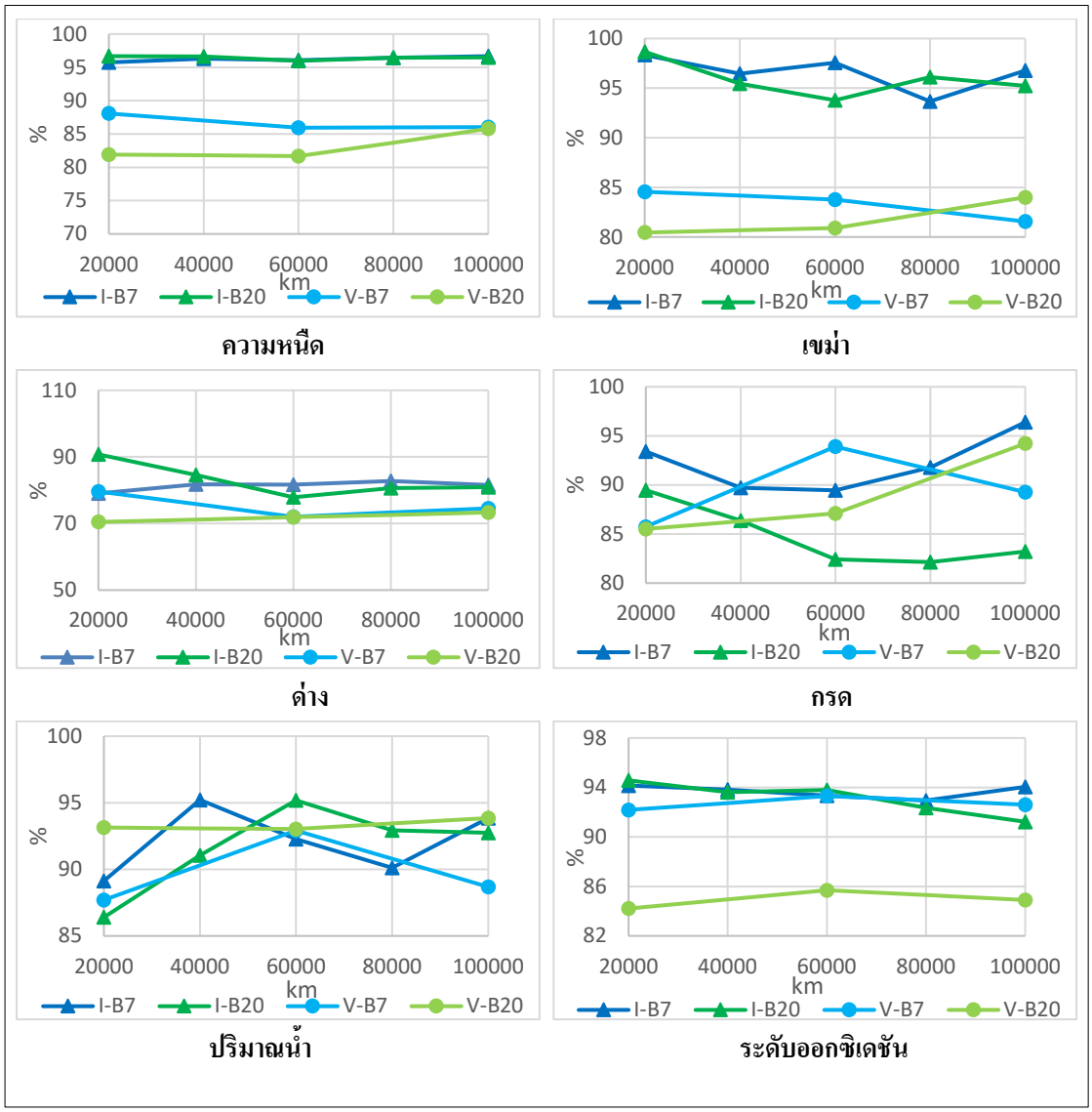


ภาพที่ 3 อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณควันดำ ของรถยี่ห้อ I ที่ใช้ B7 กับ B20 และ รถยี่ห้อ V ที่ใช้ B7 กับ B20



ภาพที่ 4 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันหล่อลื่นตามระยะเปลี่ยนถ่าย ของรถยี่ห้อ I ที่ใช้ B7 กับ B20 และ รถยี่ห้อ V ที่ใช้ B7 กับ B20

ปริมาณอะลูมิเนียม พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r มากกว่า -0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นจะมีปริมาณอะลูมิเนียมมากขึ้น เชื้อเพลิง B7 มีค่า r ระหว่าง 0.5-0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นจะมีปริมาณอะลูมิเนียมน้อยลง และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 กับ เชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นจะมีปริมาณอะลูมิเนียมน้อยลง ส่วนปริมาณทองแดง พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 แสดงถึงระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทองแดง เชื้อเพลิง B7 มีค่า r ระหว่าง 0.5-0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นจะมีปริมาณทองแดงน้อยลง และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 กับ เชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นจะมีปริมาณทองแดงน้อยลง ส่วนปริมาณตะกั่ว พบว่า ยี่ห้อ I เชื้อเพลิง B20 มีค่า r น้อยกว่า 0.5 หมายความว่าระยะทางไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณตะกั่ว เชื้อเพลิง B7 มีค่า r อยู่ระหว่าง 0.5-0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะมีปริมาณตะกั่วน้อยลง และยี่ห้อ V เชื้อเพลิง B20 กับเชื้อเพลิง B7 มีค่า r มากกว่า 0.8 หมายความว่าเมื่อระยะทางมากขึ้นจะมีปริมาณตะกั่วมีน้อยลง



ภาพที่ 5 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นตามระยะเปลี่ยนถ่าย ของรถยี่ห้อ I ที่ใช้ B7 กับ B20 และ รถยี่ห้อ V ที่ใช้ B7 กับ B20

5. การอภิปรายผล

จากข้อมูลการทดสอบรถบรรทุก 2 ยี่ห้อ คือ I กับ V นำมาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิง B7 และเชื้อเพลิง B20 ในด้านการปล่อยควันดำและการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น พบว่าเมื่อใช้เชื้อเพลิง B20 มีการปล่อยควันดำต่ำกว่าเชื้อเพลิง B7 และการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น ในด้านการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่น พบว่า เชื้อเพลิง B20 อยู่ในเกณฑ์ที่เทียบเคียงได้กับเชื้อเพลิง B7 โดยเชื้อเพลิง B20 ส่งผลให้ความหนืด ความเป็นด่าง มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติน้อยกว่า B7 ส่วนความเป็นกรด ระดับการเกิดออกซิเดชัน มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติมากกว่า B7 ส่วนค่าปริมาณน้ำไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เนื่องจากค่าปริมาณมีการเปลี่ยนแปลงไม่คงที่ พบว่าในน้ำมันหล่อลื่นใหม่มีปริมาณน้ำที่สูงแม้ว่าจะยังไม่ผ่านการใช้งาน ในด้านปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น พบว่าเหล็ก อะลูมิเนียม ทองแดง ตะกั่ว มีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น

เมื่อเปรียบเทียบการปล่อยควันดำ และการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้วนั้น เชื้อเพลิง B20 สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิง B7 ได้ โดยจะไม่ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

6. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงสมบัติน้ำมันหล่อลื่นและการปล่อยมลพิษของรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล B7 กับน้ำมันไบโอดีเซล B20 ตามระยะการเปลี่ยนถ่าย พบว่า ด้านการปล่อยควันดำ เชื้อเพลิง B20 มีการปล่อยควันดำน้อยกว่าเชื้อเพลิง B7 ด้านผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่น ได้แก่ ความหนืด ปริมาณเขม่า ความเป็นด่าง ความเป็นกรด ปริมาณน้ำ และระดับการเกิดออกซิเดชัน เชื้อเพลิง B20 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับเชื้อเพลิง B7 ด้านปริมาณโลหะเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น เชื้อเพลิง B20 ส่งผลต่อปริมาณเหล็ก อะลูมิเนียม ทองแดง และตะกั่ว ที่เจือปนในน้ำมันหล่อลื่นใกล้เคียงกับเชื้อเพลิง B7 จึงสามารถสรุปได้ว่าเชื้อเพลิง B20 สามารถใช้ทดแทนเชื้อเพลิง B7 ในรถบรรทุกได้ ไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าเชื้อเพลิง B7

7. เอกสารอ้างอิง

กรมธุรกิจพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). (2550). “**โครงการการส่งเสริมการผลิตการใช้ไบโอดีเซลในระดับชุมชน (ทดสอบการใช้ไบโอดีเซลกับเครื่องยนต์การเกษตรอเนกประสงค์)**”. 1-90.

กิตติ สถาพรประสาธน์ และ ธวัชชัยชัย เจริญคุณ. (2014). “**การศึกษาสมรรถนะและการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นจากการใช้ไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า**”. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 19(2), 305-319.

ธรรมศักดิ์ พันธุ์แสนศรี และ อนุกูล จันทร์แก้ว. (2553). “**การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในการทำงานจริงโดยใช้ไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง**”.มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 1-123.

กรมธุรกิจพลังงาน. (2557). “**โครงการศึกษาการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วที่มีส่วนผสมของไบโอดีเซลในอัตราส่วนร้อยละ 20 ในรถบรรทุกขนาดใหญ่ โดยวิธีการทดสอบภาคสนาม**”. สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 1-184.

จรัญ จันทลักขณา. (2540). “**สถิติ วิธีวิเคราะห์และวางแผนงานวิจัย**”. (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพ : บริษัท โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด. 90-95.

Dhar, A., Agarwal, A. K. (2014). “Experimental investigations of effect of Karanja biodiesel on tribological properties of lubricating oil in a compression ignition engine”. **Fuel**. 130: 117-118.

Gopal, K. N., & Karuppa Raj R. T., (2016). “Effect of pongamia oil methyl ester–diesel blend on lubricating oil degradation of di compression ignition engine”. **Fuel**. 165: 111.