

กลุ่มที่ 3

ผลงานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยี

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2,4 - ไดคลอโรฟีนอลด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และซีโอไลต์

ชนิด Fe/SUZ-4

OXIDATION REACTION OF 2,4 - DICHLOROPHENOL BY H_2O_2 AND Fe/SUZ-4 ZEOLITE

พลากร บุญใส

คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยทักษิณ

E-mail: b_palakorn@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดสาร 2,4-Dichlorophenol (2,4-DCP) เข้มข้น 6.14×10^{-4} โมลต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ และ จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และ ซีโอไลต์ชนิด Fe/SUZ-4 ที่สังเคราะห์จากอัตราส่วนของ เถ้าแกลบ ต่อ ซิลิกาโซล เท่ากับ 1 : 1 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในถึงปฏิกิริยาแบบกะ เป็นเวลา 180 นาที อุณหภูมิ 303 K pH 3.0 พบว่าเถ้าแกลบมีองค์ประกอบเป็นซิลิกา 99.70 เปอร์เซ็นต์และมีปริมาณเหล็ก (Fe) เท่ากับ 4.72 % โดยน้ำหนัก ผลึกเป็นรูปเข็มเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 0.20 μm ยาว 5.00 μm จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาพบว่า เมื่อใช้ Fe/SUZ-4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาการสลายตัวของ 2,4-DCP เร็วกว่าการใช้ SUZ-4 ที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนไอออนกับ Fe โดยที่อัตราการสลายตัวขึ้นกับความเข้มข้นของ 2,4-DCP และปฏิกิริยาการสลายตัวเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง(0.90)

คำสำคัญ : ซีโอไลต์ 2,4 ไดคลอโรฟีนอล ปฏิกิริยาเฟนตัน

ABSTRACT

The research has two objectives as the effectiveness of using Fe/SUZ-4 zeolite in reducing the 2,4-Dichlorophenol (2,4-DCP) concentration in synthetic wastewater treatment and the kinetics of 2,4-DCP onto the Fe/SUZ-4 zeolite in the treatment of synthetic wastewater, using batch experiment. By using synthesized Fe/SUZ-4 zeolite catalysts and H_2O_2 oxidizing agent, the degradation reactions of 2,4-DCP (6.14×10^{-4} mol/l) was carried out at 303 K and pH 3.0 for 180 minutes. The ratio of the rice husk ash to Silica Sol at 1:1 was used for SUZ-4 synthesis. The analysis of the rice husk ash (RHA) found that the raw material contained 99.7% SiO_2 and the total amount of Fe in SUZ-4 was found to be 4.72 wt. %. The synthesized SUZ-4 has a micro-structure of needle-shaped crystals approximately 0.2 μm in diameter and 5.0 μm in length. The ion-exchanged SUZ-4 zeolite (Fe/SUZ-4) was used since the degradation rate obtained was actually higher than that of the reaction without ion-exchanged zeolite. Variations of 2,4-DCP degradation

was investigated and it was found that the degradation rates slightly increase with increasing the 2,4-DCP concentration. The kinetics of the corresponding reactions was also studied. It was found that the degradation reactions of 2,4-DCP can be classified as a first-order reaction (0.90).

KEYWORDS : SUZ-4 Zeolite, 2,4-Dichlorophenol, Catalytic oxidation.

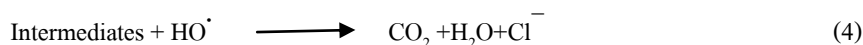
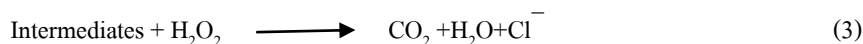
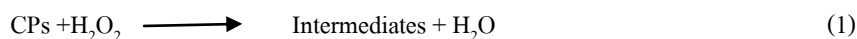
บทนำ

สารประกอบ คลอโรฟีนอล (Chlorophenol , CPs) โดยเฉพาะ 2,4-DCP มีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์สูงมาก โดยพบปะปนอยู่ทั้งในน้ำที่จากชุมชน และ น้ำที่จากภาคอุตสาหกรรมรวมถึงแหล่งน้ำธรรมชาติ (Kuleyin., 2007) ปัญหาเหล่านี้ เป็นปัญหาสำคัญที่พบทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วและกำลังพัฒนา (Yinchun และคณะ.,2009). United States Environmental Protection Agency (US. EPA) ได้กำหนดให้ CPs เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงซึ่งเป็นสาเหตุของโรคมะเร็ง (Zhou และคณะ.,2008). สำหรับ 2,4-DCP มีการใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมการผลิตยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมผลิตยา สารกำจัดวัชพืช อุตสาหกรรมฟอกเชื้อกระดาษ รวมทั้งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาและตัวกลางในอุตสาหกรรมสี และสีย้อม (Zhou และคณะ.,2008)

วิธีการกำจัด CPs มีหลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ การย่อยสลายทางชีวภาพ และ การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Pera-Titus., 2004) แต่วิธีการบำบัดโดยการย่อยสลายทางชีวภาพ และการดูดซับด้วยตัวดูดซับพบว่า การบำบัดมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อนำมาใช้ในการบำบัด CPs ที่มีความเข้มข้นสูง (Lai และคณะ.,2008) และเกิดการดูดซับได้น้อย อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูงมาก (Pera-Titus และคณะ.,2004) ดังนั้นการบำบัดด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการอื่น โดยเฉพาะในกรณีที่มีความเข้มข้นของ CPs สูง (Jia-Feng และคณะ.,2011)

กรอบแนวคิดและทฤษฎี

การบำบัด CPs โดยใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือการใช้ H_2O_2 ในการออกซิไดซ์ เพื่อทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัล ($OH^\bullet$) เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยมีเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้ CPs สลายตัวกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งไม่มีความเป็นพิษต่อสภาพแวดล้อม ดังแสดงในสมการที่ (1) – (4) (Pera-Titus., 2004)



งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2,4-DCP ด้วย H_2O_2 โดยใช้ซีโอไลต์ชนิด Fe/SUZ-4 ซึ่งสังเคราะห์จากเถ้าแกลบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

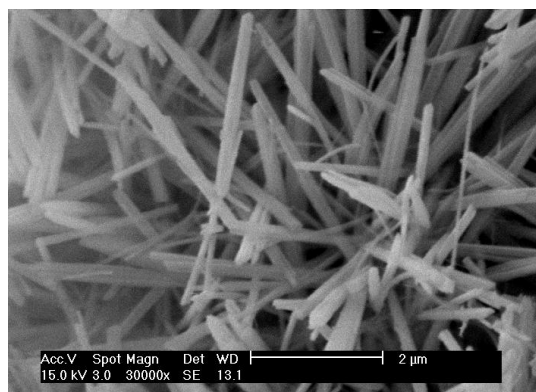
- 1) เพื่อศึกษา ประสิทธิภาพตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Fe/SUZ-4 ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2,4-DCP ด้วย H_2O_2
- 2) เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2,4-DCP ด้วย H_2O_2 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิด Fe/SUZ-4

วิธีการดำเนินวิจัย

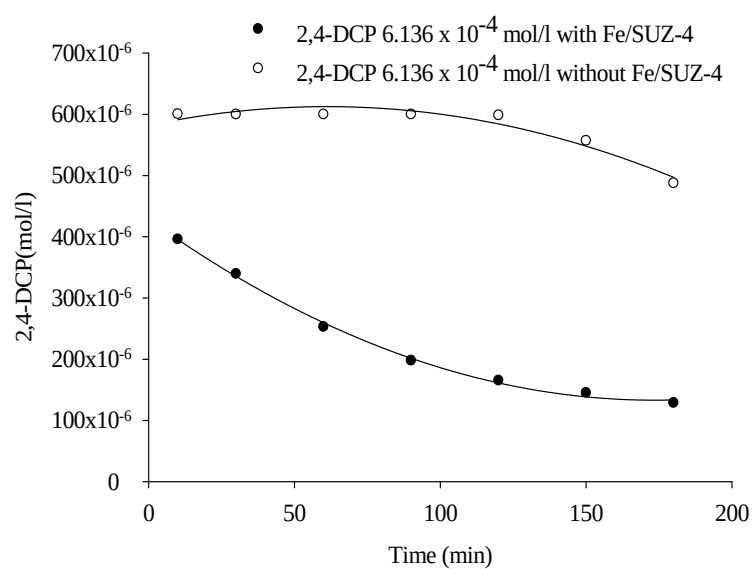
สังเคราะห์ ซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ตามวิธีการของ Panthanit. J., 2007. และเตรียมสารตัวเร่ง Fe- SUZ-4 ตามวิธีการของ Subbiah และคณะ., 2003. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พร้อมโครงสร้างของซีโอไลต์ชนิด SUZ-4 ด้วย X-ray fluorescence Spectrometry (XRF) และ Scanning Electron Microscope (SEM) ศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาโดยเปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP ระหว่างกรณีที่ใช้สารตัวเร่ง ชนิด Fe- SUZ-4 กับกรณีที่ใช้เฉพาะ SUZ-4 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาในถังปฏิกรณ์แบบกะ (250 มิลลิลิตร) ทำการวัดอัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP ($-r_d$) โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 6.14×10^{-4} โมลต่อลิตร ในขณะที่ควบคุมความเข้มข้นของ H_2O_2 ให้คงที่เท่ากับ 0.015 โมลต่อลิตร แล้วทดลองในทางกลับกัน โดยแปรค่าความเข้มข้นของ H_2O_2 จาก 7.03×10^{-2} - 7.03×10^{-3} โมลต่อลิตร ทำการสกัดสารละลาย 2,4-DCP ด้วยไดคลอโรมีเทน 10 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที ระเหยแห้งด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 313 K ก่อนละลายด้วยเมทานอล 50 เปอร์เซ็นต์ 5 มิลลิลิตร ตรวจวัดด้วย High-Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้คอลัมน์ชนิด Pinnacle II C18 ($5 \mu m$ 250×4.6 mm) มีตัวทำละลายเป็นส่วนผสมระหว่าง เมทานอล อะซิโตน ไตรคลอโรเอทิลีน และน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 30:30:40 โดยมีอัตราการไหลเท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตัวตรวจวัดเป็น UV- Photodiode array (DAD) ความยาวคลื่น 280 nm. พร้อมทั้งทดสอบความใช้ได้ของวิธี (Method Validation) โดยการหาค่าความถูกต้อง (Accuracy analysis) และ ค่าความแน่นอน (Precision analysis) โดยการทำซ้ำสามครั้งและหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative Standard Deviation, % RSD)

สรุปผลการวิจัย

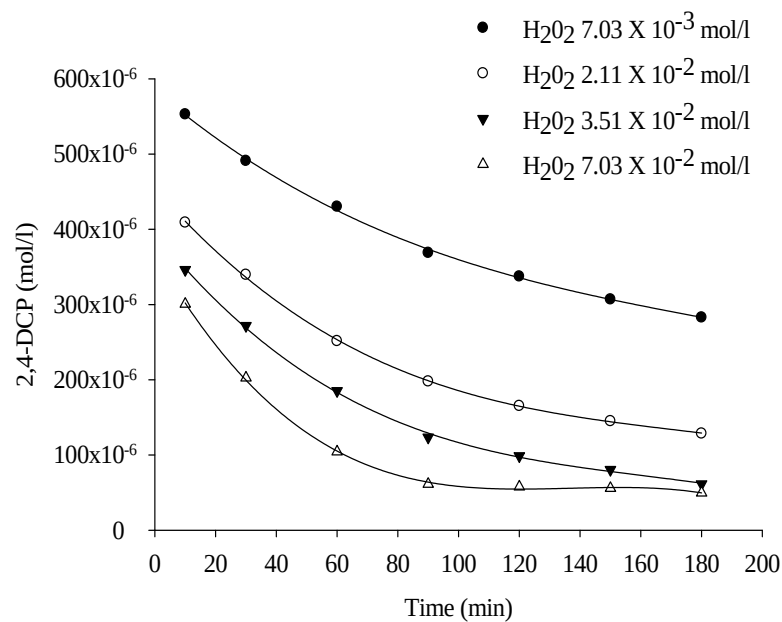
การสังเคราะห์ซีโอไลต์ชนิด Fe/SUZ-4 โดยใช้อัตราส่วนของ เถ้าแกลบ (rice husk ash) ต่อซิลิกาโซล (RHA:Silica Sol) เท่ากับ 1 :1 จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะของ SUZ-4 ที่สังเคราะห์ได้ เท่ากับ 545 ตารางเมตรต่อกรัมซึ่งใกล้เคียงกับการใช้เพียงซิลิกาโซล คือ 548 ตารางเมตรต่อกรัม (Panthanit. J., 2007) ดังนั้นทำให้ SUZ-4 ที่สังเคราะห์ได้มีราคาถูกแต่ยังคงมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SUZ-4 ที่สังเคราะห์จากสารเคมีเพียงอย่างเดียว ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และ โครงสร้างของซีโอไลต์ชนิด Fe/SUZ-4 พบว่ามีปริมาณเหล็ก (Fe) เท่ากับ 4.72 % โดยน้ำหนัก แสดงว่ามี Fe (II) ได้แทรกตัวอยู่ในรูพรุนของซีโอไลต์ ผลที่ได้เป็นรูปเข็ม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $0.20 \mu m$ ยาว $5.00 \mu m$ ดังภาพที่ (1) การศึกษาประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่ากรณีที่ใช้สารตัวเร่ง Fe/SUZ-4 2,4-DCP มีอัตราการสลายตัวเท่ากับ 77.45 % ซึ่งมากกว่ากรณีใช้ SUZ-4 คือ 17.30 % ดังภาพที่ (2) สรุปได้ว่าการใช้ Fe/SUZ-4 เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยานี้ มีประสิทธิภาพในการทำให้อัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP สูงกว่า เมื่อใช้ SUZ-4



ภาพที่ 1. โครงสร้างของซีโอไลต์ชนิด Fe/SUZ-4 วิเคราะห์โดย SEM

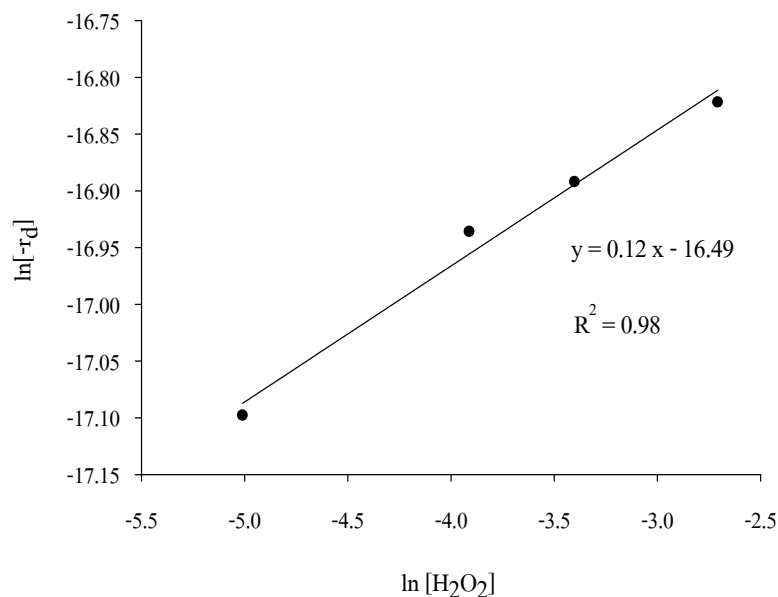


ภาพที่ 2. กราฟเปรียบเทียบอัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP ระหว่างใช้ SUZ-4 กับ Fe/SUZ-4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (H_2O_2 0.015 โมลต่อลิตร, 303 K, pH 3)



ภาพที่ 3. กราฟแสดงอัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP (6.13×10^{-4} โมลต่อลิตร) โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของ

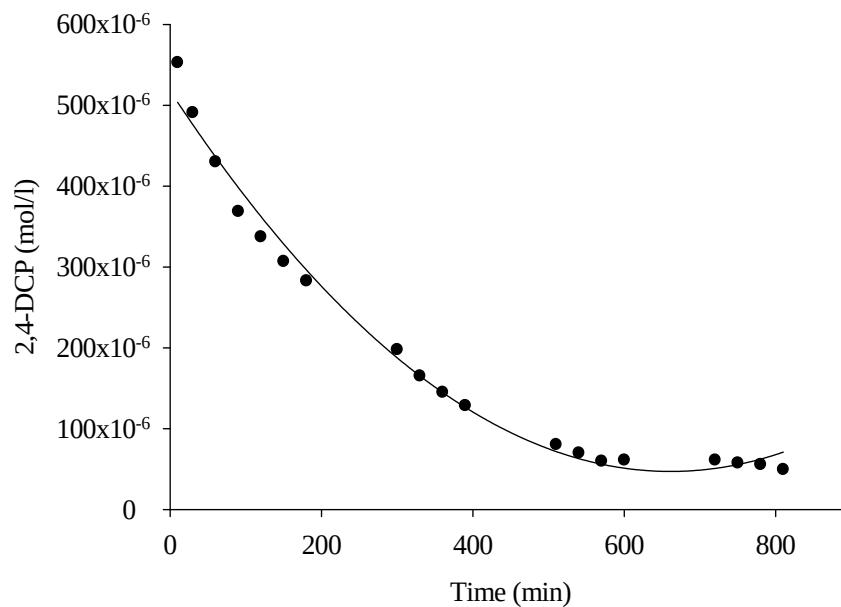
H_2O_2 (303 K, pH 3)



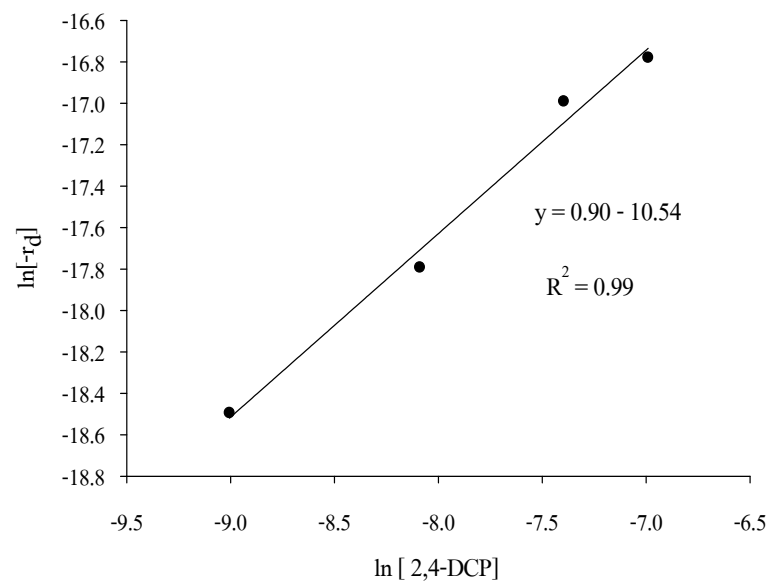
ภาพที่ 4. กราฟระหว่าง $\ln[\text{H}_2\text{O}_2]$ กับ $\ln[-r_d]$ สำหรับการสลายตัวของ 2,4-DCP โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของ H_2O_2

ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ โดยการแปรค่าความเข้มข้นของ H_2O_2 และวัดอัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP เมื่อเขียนกราฟระหว่าง $\ln(-r_d)$ กับ $\ln[\text{H}_2\text{O}_2]$ ค่าความชันของกราฟเท่ากับ 0.12 กราฟที่ได้เป็นเส้นตรงมีค่า R^2 เท่ากับ 0.98 ดังนั้น อันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับศูนย์ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ H_2O_2 แสดงในภาพที่

(3) และ (4) เมื่อทำการศึกษาอัตราการสลายตัวของ 2,4-DCP โดยใช้ H_2O_2 เข้มข้น 0.015 โมลต่อลิตร เขียนกราฟระหว่าง $\ln(-r_d)$ กับ $\ln [2,4\text{-DCP}]$ มีความชันของกราฟเท่ากับ 0.90 และกราฟที่ได้เป็นเส้นตรงมีค่า R^2 เท่ากับ 0.99 ดังนั้น อันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับหนึ่ง เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ 2,4-DCP ดังในภาพที่ (5) และ (6)



ภาพที่ 5. กราฟแสดงอัตราการสลายตัว 2,4-DCP (H_2O_2 0.015 โมลต่อลิตร, 303 K, pH 3)



ภาพที่ 6. กราฟ ระหว่าง $\ln [2,4\text{-DCP}]$ กับ $\ln[-r_d]$ สำหรับการสลายตัวของ 2,4-DCP

อภิปรายผล

จลพลศาสตร์ของปฏิกิริยาออกซิเดชัน 2,4-DCP โดยใช้ H_2O_2 และซีโอไลต์ชนิด Fe/SUZ-4 เป็นดังสมการที่ (5) และ (6) C_{CPs} คือความเข้มข้นของ 2,4-DCP, $C_{H_2O_2}$ คือความเข้มข้น H_2O_2

$$r_d = \frac{dC_{CPs}}{dt} = kC_{CPs}^n C_{H_2O_2}^m$$

$$(5) \ln\left(\frac{dC_{CPs}}{dt}\right) = n \ln C_{CPs} + \ln(kC_{H_2O_2}^m)$$

(6)

n คือ อันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ 2,4-DCP, m คืออันดับของปฏิกิริยาเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ H_2O_2 และ k คือค่าคงที่ของปฏิกิริยา มีอันดับของปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของ 2,4-DCP โดยขึ้นกับความเข้มข้นของ 2,4-DCP เท่านั้น และมีกฎอัตราเป็น

$$\ln\left(\frac{dC_{CPs}}{dt}\right) = n \ln C_{CPs} + \ln k$$

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เรื่องผลของการดูดซับ (Adsorption) โดยซีโอไลต์ชนิด Fe- SUZ-4

รายการอ้างอิง

- Jai-Feng W., Hai-tao W., Peng-yu Z., and Ming-jing G. 2011. "Catalytic oxidation degradation of phenol in wastewater by heterogeneous Fenton reagent." **Journal of Chongqing University**. 10: 147-152.
- Kuleyin A. 2007. "Removal of Phenol and 4-Chlorophenol by Surfactant-Modified Natural Zeolite." **Journal of Hazardous Materials**. 144: 307-315.
- Lai T.L., Lee C.C., Huang G.L., Shu Y.Y. and Wang C.B. 2008. "Microwave-Enhanced Catalytic Degradation of 4-Chlorophenol Over Nickel Oxide." **Applied Catalysis B: Environmental**. 78: 151-157.
- Panthanit, J. 2007. "Synthesis of SUZ-4 Zeolite from Rice Husk Ash." Master of Engineering thesis Kasetsart University.
- Pera-Titus M., García-Molina V., Baños M.A., Giménez J., Espuglas S. 2004. "Degradation of Chlorophenols by Means of Advanced Oxidation Processes: A General Review." **Applied Catalysis B: Environmental**. 47: 219-256.
- Subbiah A., Cho, B.K., Blint, R.J., Gujar, A.C., Price, G.L. and Yie, J.E. 2003. "NO_x reduction over metal-ion exchanged novel zeolite under lean condition : activity and hydrothermal stability." **Applied Catalysis B: Environmental**. 42: 155-178.
- US Environmental Protection Agency. U.S. EPA Method 604—Phenols. Washington, DC, 1985 (40 CFR part 136).

- Yinchun Y., Liping H., Chenghua X., Zhixiang Y. and Shengyu L. 2009. "2,4-Dichlorophenol Degradation by Heterogeneous Fenton Like Reaction Using Carbon-Fe Catalysts." *Bioinformatics and Biomedical Engineering ICBBE 3rd International Conference*. 1–3.
- Zhou T., Li Y., Ji J., Wong F. S. and Lu X. 2008. "Oxidation of 4-Chlorophenol in a Heterogeneous Zero Valent Iron/H₂O₂ Fenton-Like System: Kinetics, Pathway and Effect Factors." ***Separation and Purification Technology***. 62: 551–558.

การวิเคราะห์การระบายอากาศในโรงงานด้วยแบบจำลองคู่ควบ

ANALYSIS OF AIR VENTILATION IN FACTORY VIA COUPLED MODELS

ชตวรรษ สุวรรณพุ่ม

ภูริต ณะกิจเกษม

ณัฐ กาศยปนนท์

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail: oxmon@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบระบายความร้อนภายในโรงงานที่ไม่มีระบบปรับอากาศ ด้วยแบบจำลองที่รวมวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และการถ่ายโอนความร้อน ซึ่งนำมาออกแบบจำนวนช่องระบายอากาศและหาขนาดที่เหมาะสมของช่องเปิดภายในโรงงาน โดยใช้อุณหภูมิภายในโรงงานที่ได้รับการระบายความร้อนออกเป็นตัวชี้วัด โดยทำการจำลองโรงงานเป็น 2 มิติ ใช้เอลิเมนต์ รูปสามเหลี่ยม ผันเป็นแบบไม่ไถล จำลองที่สภาวะคงตัว ความหนาแน่นของอากาศแปรผันโดยตรงกับอุณหภูมิทำให้เกิดแรงลอยตัว จำนวนของช่องระบายอากาศที่ใช้ในการศึกษาคือ 4 และ 6 ช่อง ขนาดของช่องระบายอากาศด้านบนคือ 0.25 และ 0.315 เมตร และช่องเปิดด้านข้างมีขนาด 0.25 และ 0.35 เมตร โดยกำหนดให้มีความร้อนที่ได้รับจากหลังคาและความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอาคารมีเท่ากัน จากผลการจำลองพบว่าโรงงานที่มีช่องเปิดด้านบนขนาด 0.25 เมตร จำนวน 6 ช่อง ขนาดช่องเปิดด้านข้าง 0.35 เมตร จะสามารถระบายความร้อนออกจากโรงงานได้มากที่สุด อีกทั้งยังส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงานมีค่าต่ำกว่า โรงงานที่มีช่องเปิดด้านบน 4 ช่อง

คำสำคัญ: การระบายอากาศ, พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, การถ่ายโอนความร้อน, แบบจำลองคู่ควบ

ABSTRACT

This paper is study system of ventilation in factory without airs conditioning using model of Computational fluid dynamics (CFD) with heat transfer to design Ventilator in factory, which focus on decreasing of temperature of factory. This model is 2 dimensional using free triangular elements of mesh, which operated with no slip wall, steady state, density of air depend on temperature. the variable of this study is number of ventilator on roof (4 and 6 ventilator), size of top ventilator, V (0.25m and 0.315m) and size of side ventilator, L (0.25 and 0.35). The results showed that the factory with 6 top ventilators and size of top ventilator is 0.25m, side ventilator is 0.35m can remove heat from factory more than other condition which also affect to average temperature in factory lowest.

1. บทนำ

เนื่องจากโลกในปัจจุบันได้ประสบปัญหาสภาวะเรือนกระจกส่งผลให้โลกร้อนขึ้นและมีแนวโน้มว่าจะร้อนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทำให้โรงงานต่างประสบปัญหาเรื่องอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากกว่าแต่ก่อนจึงได้มีการออกแบบระบบระบายความร้อนในโรงงานเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นระบบระบายความร้อนโดยใช้เครื่องปรับอากาศหรือระบบระบายความร้อนแบบเปิด ซึ่งระบบระบายความร้อนโดยใช้เครื่องปรับอากาศนั้นมีที่ต้นทุนสูงและมีการใช้พลังงานอย่างมากอีกทั้งยังไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมบางรูปแบบ ส่วนระบบระบายอากาศแบบเปิดในปัจจุบันมีทั้งแบบช่องเปิด(ธรรมชาติ) [1] และพัดลม(บังคับ) ซึ่งระบบระบายความร้อนส่วนใหญ่แล้วยังทำงานได้ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากขาดการออกแบบอย่างถูกต้องและเหมาะสมจึงทำให้ระบบระบายความร้อนนั้นทำงานได้ไม่ดีเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้ จะเน้นเพื่อศึกษา ระบบระบายความร้อนแบบเปิด คือ การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ โดยศึกษาถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากการออกแบบ ของระบบระบายความร้อนที่มีขนาดของช่องเปิด [3] จำนวนของช่องเปิดแตกต่างกัน ว่ามีผลต่อการระบายความร้อนมากน้อยเพียงใดเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าโรงงานควรจะมีการติดตั้งระบบระบายความร้อนอย่างไรจึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะทำการศึกษาด้วยวิธีจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) [4] ที่สภาวะ steady state ของไหลอัดตัวไม่ได้ และ กำแพงเป็นแบบ no slip โดยจะวิเคราะห์จาก อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงาน

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษารูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนของอากาศในกรณีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ภายในโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีระบบปรับอากาศ

2.2 เพื่อศึกษาผลของ ขนาดของช่องเปิด จำนวนของช่องเปิด ขนาดของอาคาร ว่ามีผลต่อการระบายความร้อนมากน้อยเพียงใด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

-ทำการสร้างแบบจำลองของโรงงานดังแสดงในรูปที่ 1 โดยกำหนดให้

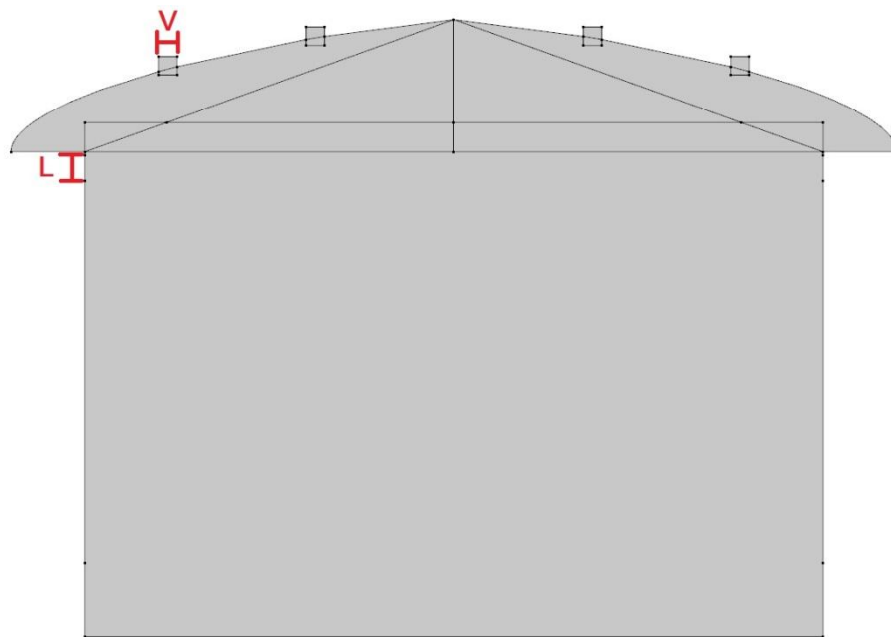
V คือ ขนาดของช่องระบายอากาศด้านบนหลังคา (ขนาดที่นำมาใช้อ้างอิงจากขนาดของพัดลมดูดอากาศที่มีขายตามท้องตลาด)

L คือ ขนาดของช่องเปิดด้านข้างของหลังคา

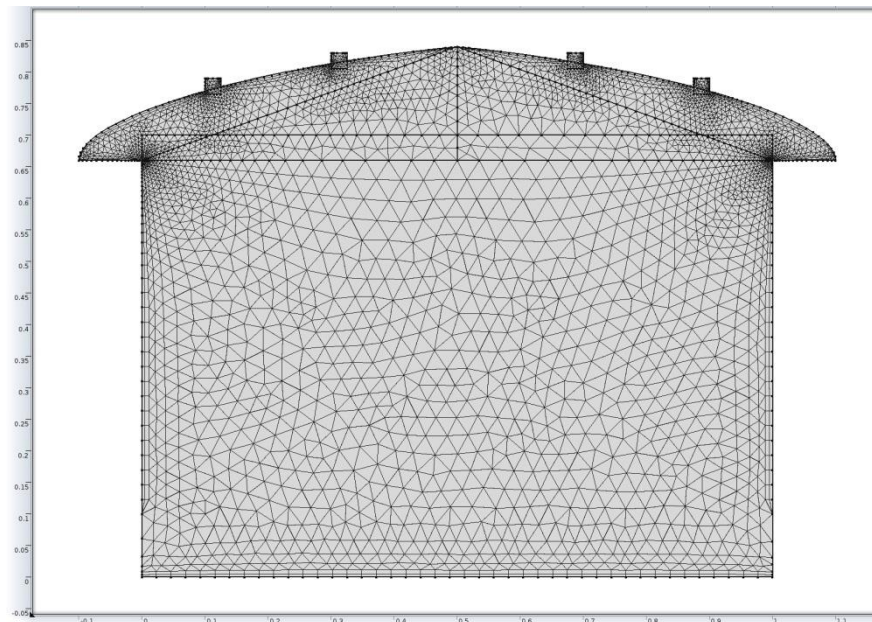
- จากนั้นทำการจำลองโดยการปรับขนาดต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1
- ศึกษาแบบการไหลของอากาศ ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร [5] และเปรียบเทียบโดยคิดจากอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงาน ด้วยโปรแกรมคำนวณทางพลศาสตร์การไหล
- กำหนดให้การจำลองเป็นแบบอัดตัวไม่ได้ ที่สภาวะคงตัว อุณหภูมิของหลังคาเท่ากับ 70 °C อุณหภูมิของอากาศเท่ากับ 29 °C ผันเป็นแบบ no slip wall และ mesh เป็นแบบ free triangular ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของช่องเปิดที่ใช้ในแบบจำลอง

กรณี	ขนาดช่องเปิด		จำนวนช่องเปิดด้านบน
	บน(m)	ข้าง(m)	
1	0.25	0.25	4
2	0.25	0.35	4
3	0.315	0.25	4
4	0.315	0.35	4
5	0.25	0.25	6
6	0.25	0.35	6
7	0.315	0.25	6
8	0.315	0.35	6



รูปที่ 1 แสดงรูปโรงงานที่ใช้ในการสร้างโมเดล



รูปที่ 2 แสดง mesh ที่ใช้ในการจำลอง

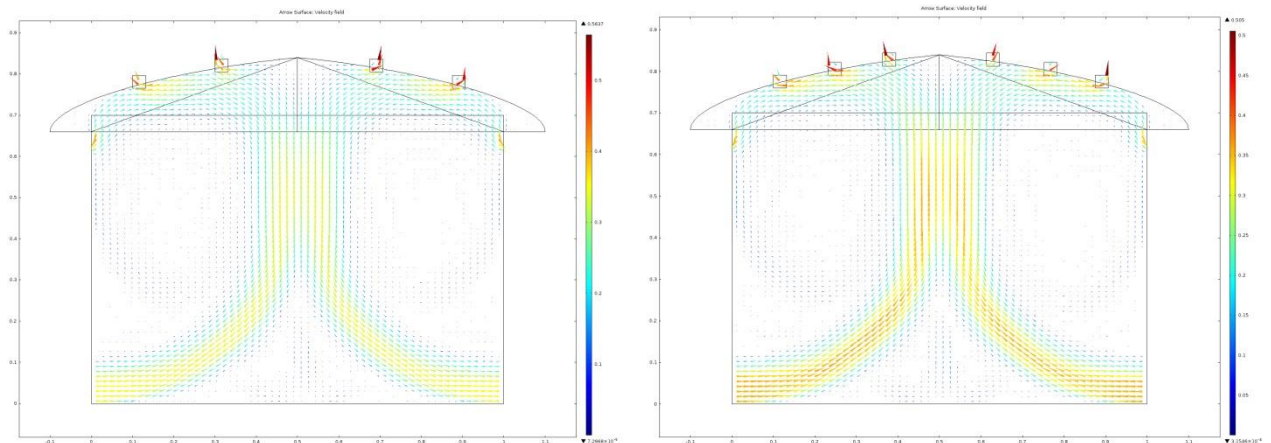
4. วิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ผลกระทบที่เกิดจากจำนวนช่องเปิด

ตารางที่ 2 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยของกรณีต่างๆ (อ้างอิงกรณีต่างๆตามตารางที่ 1)

กรณี	อุณหภูมิเฉลี่ย $^{\circ}\text{C}$
1	43.546
2	43.367
3	43.561
4	43.382
5	42.389
6	42.110
7	42.620
8	42.268

จากผลการจำลองทางพลศาสตร์การไหลพบว่าเมื่อแบบจำลองมีจำนวนช่องเปิดระบายอากาศบนหลังคาเพิ่มมากขึ้นคือ จาก 4 ช่อง เป็น 6 ช่อง จะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงานลดลง 2.89% ซึ่งแสดงในตารางที่ 2 สาเหตุที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงานลดลง เป็นผลอันเนื่องมาจาก เมื่อโรงงานมีจำนวนช่องระบายอากาศมากขึ้น ส่งผลให้อากาศภายในโรงงานนั้นไหลเร็ว ขึ้นซึ่งแสดงในรูปที่ 3 ทำให้โรงงานสามารถระบายความร้อนออกจากโรงงานมากขึ้นจึงส่งผลให้อุณหภูมิภายในโรงงานลดลง

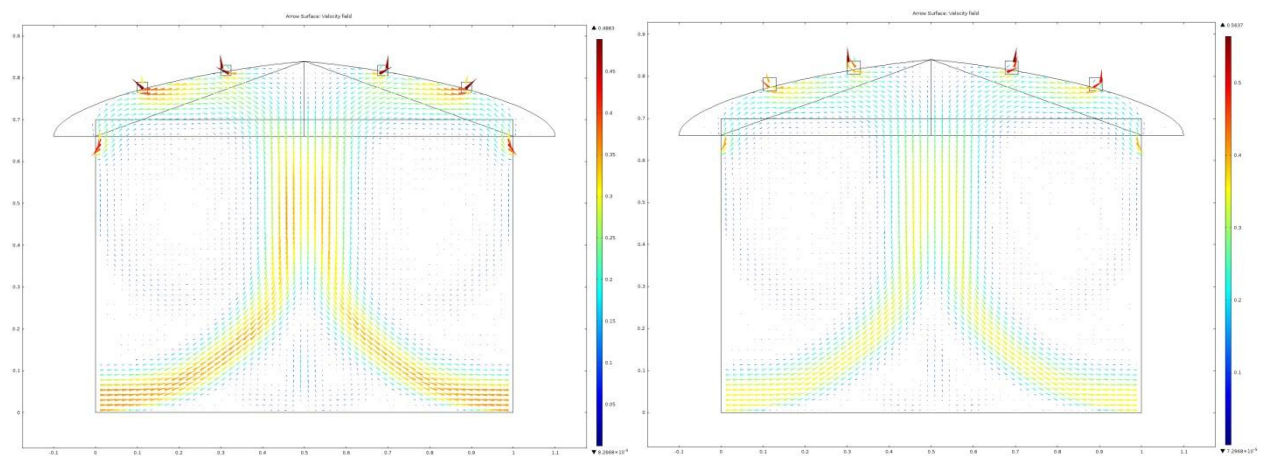


รูปที่ 3 แสดงการไหลของอากาศภายในโรงงานที่มีช่องเปิดบนหลังคา 4 ช่อง และ 6 ช่อง

4.2 ผลกระทบที่เกิดจากขนาดของช่องเปิด

4.2.1 ผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของช่องเปิดด้านบน

จากผลการจำลองทางพลศาสตร์ของไหลพบว่าเมื่อ ทำการเพิ่มขนาดของช่องเปิดบนหลังคา จาก 0.25 m เป็น 0.315 m จะส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ย ภายในโรงงานสูงขึ้น 0.03% ซึ่งแสดงในตารางที่ 2

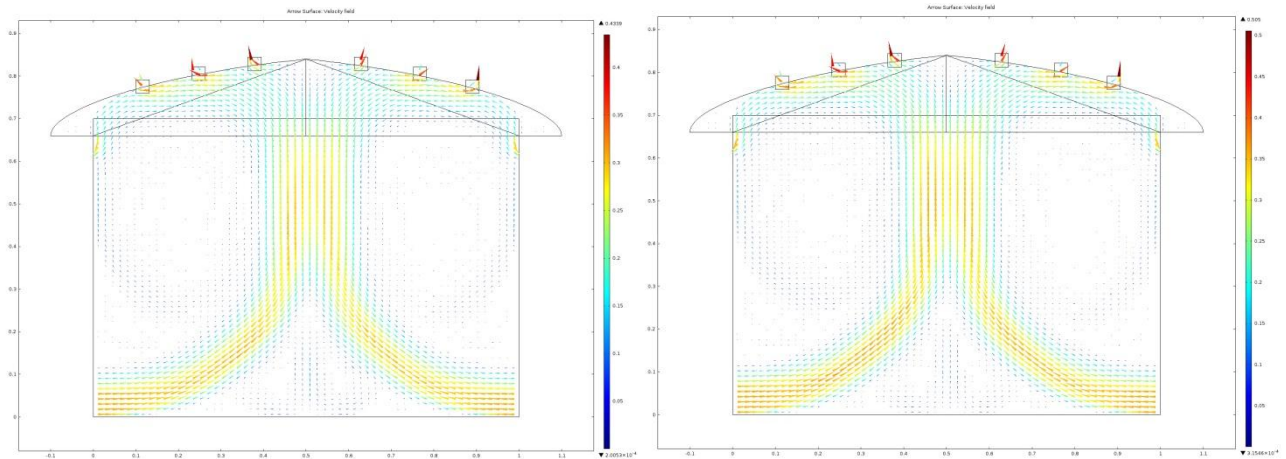


รูปที่ 4 แสดงการไหลของอากาศภายในโรงงานที่มีช่องเปิดด้านบน 4 ช่อง ขนาด 0.25m และ 0.315 m

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า การไหลของอากาศในแบบจำลองที่มีช่องเปิดด้านบนขนาด 0.25 m อากาศภายในโรงงานจะไหลเร็วกว่าแบบจำลองที่มีช่องเปิดด้านบนขนาด 0.315 m เมื่ออากาศไหลเร็วกว่าส่งผลให้สามารถระบายความร้อนออกจากอาคารได้มากกว่า ดังนั้น แบบจำลองที่มีช่องเปิดด้านบนขนาด 0.25 m จึงมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า แบบจำลองที่มีช่องเปิดด้านบนมีขนาด 0.315 m

4.2.1 ผลกระทบอันเนื่องมาจากขนาดของช่องเปิดด้านข้าง

จากผลการจำลองทางพลศาสตร์การไหลพบว่าเมื่อ ช่องเปิดด้านข้าง มีขนาดใหญ่ขึ้นจาก 0.25 m เป็น 0.35 m จะส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในโรงงาน มีค่าลดลง 0.826% ซึ่งแสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 5 แสดงการไหลของอากาศภายในโรงงานที่มีจำนวนช่องเปิดด้านบนเท่ากัน ช่องเปิดด้านข้างมีขนาด 0.25m และ 0.35m

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าการไหลของอากาศในแบบจำลองที่ด้านข้างมีขนาด 0.25 m อากาศภายในโรงงานจะไหลเร็วกว่าแบบจำลองที่ช่องเปิดด้านข้างมีขนาด 0.35 m เมื่ออากาศไหลเร็วกว่าส่งผลให้สามารถระบายความร้อนออกจากอาคารได้มากกว่า ดังนั้น แบบจำลองที่ช่องเปิดด้านข้างขนาด 0.25 m จึงมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่าแบบจำลองที่ช่องเปิดด้านข้างมีขนาด 0.35 m

5. สรุป

การระบายอากาศและการลดอุณหภูมิภายในโรงงานที่เป็นโรงงานแบบเปิด(ไม่มีระบบปรับอากาศ) นั้น จากผลการจำลองทางพลศาสตร์การไหลจะเห็นว่า การที่เปิด ช่องเปิดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นไม่ได้ส่งผลดีเสมอไป (จากกรณีของการเพิ่มขนาดของช่องเปิดด้านบน) ส่วนการเพิ่มจำนวนช่องเปิดด้านบน และ ขนาดของช่องเปิดด้านข้างนั้น ส่งผลให้สามารถ ลดอุณหภูมิเฉลี่ยภายในโรงงานได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการ กรณีที่มีช่องเปิด 6 ช่อง ที่ขนาด 0.25m และมีช่องเปิดด้านข้าง 0.35m นั้นสามารถระบายความร้อนออกจาก โรงงานได้ดีที่สุด

6. อภิปรายผล

การระบายอากาศและการลดอุณหภูมิภายในโรงงานนั้นเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและมีปัจจัยต่างที่ส่งผลกระทบต่อการออกแบบมากมาย ควรศึกษาถึงผลกระทบข้อดีข้อเสียต่างๆ ที่เหมาะสมตามความต้องการ และ การศึกษาครั้งนี้พบว่า ควรที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ถึงขนาดของช่องเปิดเพิ่มมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (สนพ.) ประจำปีงบประมาณ 2557 โครงการเรื่อง “การวิเคราะห์การระบายอากาศในโรงงานด้วยแบบจำลองคู่ควบ
Analysis of Air Ventilation in Factory via Coupled Models”

7.รายการอ้างอิง

- E. Olsen, Q. Chen. 2003. “Energy consumption and comfort analysis for different low energy cooling systems in a mild climate.” **Energy & Buildings**. 35, 561–571
- Aung, W., Fletcher, L. S. and Sernas, V., 1972. “Developing laminar free convection between vertical flat plates with Asymmetric Heating.” **International Journal Heat Mass Transfer**. Vol. 15, pp. 2293–2308
- M.P. Straw, C.J. Baker, A.P. Robertson, 2000. “Experimental measurements and computation of the wind induced ventilation of a cubic structure.” **Journal of Wind Engineering and Industrial Dynamics**. 88, 213–230.
- R. Ramponi, 2012. “CFD simulation of cross-ventilation for a generic isolated building: Impact of computational parameters.” **Building and Environment** 53.
- R. Ramponi, 2012. “CFD simulation of cross-ventilation flow for different isolated building configurations: Validation with wind tunnel measurements and analysis of physical and numerical diffusion effects” **J. Wind Eng. Ind. Aerodyn**. 104–106

**การประเมินผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ
ของเครื่องทำน้ำเย็น แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ
โดยวิธีรวมพลังงานจากภาระงานที่แปรเปลี่ยน**

**ESTIMATION OF ENERGY CONSUMPTION COMPARISON
FOR AN AIR-COOLED CHILLER IN AIR-CONDITIONING SYSTEM
USING INTEGRATED PART-LOAD VALUE METHOD**

ชลธิศ เอี่ยมวรฤทธิกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Email : chonlathis.ei@spu.ac.th

สุรเชษฐ์ ภู่อึ้ง, ศจี สุนกลาง

บริษัท ไพโอเนียร์ พรีซิชั่น จำกัด

Email : surachade_p@pioneer-precision.co.th, sajee@pioneer-precision.co.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนำเสนอแนวทางการประเมินปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) สำหรับระบบปรับอากาศในอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ จากวิธีการคำนวณค่าผลรวมพลังงานจากภาระงานที่แปรเปลี่ยนตลอดปี หรือ Integrated Part-Load Value (IPLV) ซึ่งการคำนวณวิธีนี้ผนวกปัจจัยของการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะการทำงานของเครื่อง (kW/ton) จากอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศในท้องถิ่นและภาระการทำความเย็นของอาคารที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อเป็นแนวทางแก่วิศวกรหรือผู้รับผิดชอบพลังงานในอาคารในการนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินผลการประหยัดหรือสิ้นเปลืองพลังงาน แทนวิธีปฏิบัติทั่วไปที่มักกำหนดให้สมรรถนะ kW/ton มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาการทำงานทั้งปี โดยแนวทางที่นำเสนอในรายงานนี้ มุ่งเน้นวิธีการการคำนวณที่ไม่สลับซับซ้อนโดยการประมาณความสัมพันธ์สมรรถนะการทำงานของเครื่อง chiller จากข้อมูลจากการตรวจวัดที่มักได้มาอย่างจำกัดในทางปฏิบัติ การสร้างแบบจำลองภาระความร้อนของอาคาร และการนำมาประมวลหาค่า IPLV ภายใต้สภาวะอุณหภูมิอากาศของท้องถิ่น การศึกษาได้ดำเนินการโดยใช้กรณีศึกษาของอาคารโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร ที่ใช้เครื่อง Chiller แบบระบายความร้อนด้วยอากาศและมีการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน พบว่าผลการอนุรักษ์พลังงานพลังงานที่ได้แตกต่างจากการคำนวณโดยวิธีปกติ (ใช้ค่าสมรรถนะคงที่) ถึง 38.2%

คำสำคัญ : IPLV, อนุรักษ์พลังงาน, ระบบปรับอากาศ, เครื่องทำน้ำเย็น

ABSTRACT

The study proposes an alternative methodology to evaluate the amount of energy consumed by a water chiller in large commercial building's air-conditioning system. The method of "Integrated Part-Load Value" (IPLV) is utilized to predict annual energy consumption of the machine with changing performance (kW/ton) according to varying local ambient air temperature and building cooling load demands. This IPLV method could be utilized by engineers or energy conservation personal for better evaluation of chiller energy consumption than a conventional means which employ a fixed value of chiller kW/ton for year round performance calculation. The study explains a simple means of applying IPLV technique via estimation of chiller performance curve based on usually limited field data as well as the way to approximate a model of building load demand. The investigation is carried out using a case study of 24 hour a day operating air-cooled chiller for an air-conditioning system in a hospital building located in Bangkok.

KEYWORDS : Integrated Part-Load Value, IPLV, Building Energy Conservation, Chiller, Air-Conditioning

1. บทนำ

การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศโดยเฉพาะสำหรับอาคารธุรกิจ เป็นประเด็นที่ผู้ประกอบการและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการดูแลอาคารหรือวิศวกรผู้ออกแบบให้ความสนใจ เนื่องจากระบบปรับอากาศมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดเพื่อเปรียบเทียบกับระบบวิศวกรรมอื่นๆของอาคาร โดยมักมีสัดส่วนที่สูงกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารในแต่ละปี [1] นอกจากนั้นการอนุรักษ์พลังงานได้ถูกกำหนดให้อาคารควบคุมต้องมีการดำเนินการภายใต้ พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 และ กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงาน พ.ศ. 2552 [2,3] ซึ่งต้องมีการวิเคราะห์ประเมินศักยภาพปริมาณพลังงานที่สามารถประหยัดได้ เพื่อนำมากำหนดเป้าหมายและมาตรการการดำเนินงาน โดยอาคารควบคุมส่วนใหญ่แล้วระบบปรับอากาศมักจะได้อุณหภูมิให้มีความสำคัญในการใช้พลังงานและถูกนำมาประเมินวิเคราะห์ในแต่ละรอบปีของระบบการจัดการพลังงาน

การคำนวณเพื่อทำนายปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ โดยเฉพาะระบบสำหรับอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ที่มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) จึงมีความสำคัญเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ในการนำไปวิเคราะห์การลงทุนและผลตอบแทนในการตัดสินใจคัดเลือกใช้ประเภทเครื่อง Chiller หรือ ในการตัดสินใจวิเคราะห์เป้าหมายการดำเนินงานมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยผู้ที่รับผิดชอบด้านพลังงานของอาคารได้อย่างถูกต้อง อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติที่ดำเนินการโดยทั่วไปนั้น การประเมินการใช้พลังงานของเครื่อง Chiller มักจะยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก เนื่องจากการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานโดยอ้างอิงจากประสิทธิภาพหรือสมรรถนะด้านพลังงาน คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่อขนาดตันทำความเย็น (kW/ton) ณ สภาวะการทำงานจุดใดจุดหนึ่งให้เป็นค่าคงที่ในการประเมินปริมาณการใช้พลังงานรายปีของระบบปรับอากาศ เช่น การใช้ข้อมูลสมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมค่าใดค่าหนึ่งจากผู้ผลิต หรือ จากค่าการตรวจวัดสมรรถนะการทำงานจริงของเครื่อง Chiller สามารถดำเนินการได้

ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้นเนื่องจากข้อจำกัดของเวลาและต้นทุน โดยในความเป็นจริงแล้ว สมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศนั้นขึ้นกับปัจจัยหลายประการทั้งโดยเฉพาะ ขนาดภาระทำความเย็นของอาคาร และ ที่สำคัญ อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาทั้งปี ส่งผลให้สมรรถนะการทำงานและอัตราการใช้ของเครื่อง Chiller แปรเปลี่ยนไปตลอดเวลาการทำงานด้วย ดังนั้นการคาดการณ์ปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศโดยการอ้างอิงสมรรถนะการทำงาน ณ จุดใดจุดหนึ่งจึงอาจให้ค่าปริมาณพลังงานที่แตกต่างจากความเป็นจริงได้มาก

การประเมินการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศจึงจำเป็นต้องผนวกรวมปัจจัยทั้งภาระการทำความเย็นของอาคาร (Cooling Load) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศของท้องถิ่น ที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดปี ซึ่งมีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีค่าที่แตกต่างกันไปสำหรับประเภทและยี่ห้อของผู้ผลิต ปัจจัยเหล่านี้สามารถถูกนำมาคำนวณผลค่ารวมพลังงานจากภาระการทำงานที่แปรเปลี่ยน หรือ Integrated Part-Load Value (IPLV) ซึ่งเป็นค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมต่อปีของเครื่องปรับอากาศ ได้ใกล้เคียงต่อความเป็นจริงยิ่งขึ้น การประเมินการใช้พลังงานโดยวิธี IPLV นั้นถึงแม้จะเป็นที่ยอมรับว่ามีความเหมาะสมมากกว่า แต่ยังไม่ได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากความสลับซับซ้อนของการคำนวณที่มากขึ้น [4] รวมถึงภาครัฐไม่ได้มีการเผยแพร่เป็นแนวทางสำหรับผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในการนำไปใช้ในการประเมินผลการใช้พลังงาน ส่งผลให้ยังขาดความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้อง [5] และถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำข้อมูล IPLV มาใช้ประกอบการพิจารณาในการคัดเลือกจัดซื้อเครื่อง Chiller ขนาดใหญ่ แต่ข้อมูล IPLV จากผู้ผลิตมักเป็นค่าที่ประเมินตามเกณฑ์มาตรฐานของ AHRI Standard 550/590 [6] ซึ่งมาจากพื้นฐานข้อมูลของสภาพอากาศและรูปแบบอาคารของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากของประเทศไทยเป็นอย่างมาก และไม่มี ความเหมาะสมในการนำมาประเมินปริมาณการใช้พลังงานสำหรับภูมิอากาศท้องถิ่นที่แตกต่างกัน เช่นของประเทศไทย

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและนำเสนอวิธีการการคำนวณแบบง่าย สำหรับการประเมินการใช้พลังงานของระบบเครื่องปรับอากาศ โดยวิธี Integrated Part-Load Value เพื่อให้ได้ค่าปริมาณพลังงานรวมรายปีของเครื่องปรับอากาศแบบ Chiller ที่สามารถดำเนินการได้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก เพื่อเป็นแนวทางแก่วิศวกรผู้รับผิดชอบด้านพลังงานของอาคารได้นำไปใช้ในการประเมินผลเปรียบเทียบการใช้พลังงานรายปี โดยเฉพาะเมื่อมีข้อจำกัดในการได้มาซึ่งข้อมูลจากการตรวจวัดจากการทำงานจริง โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาโดยใช้กรณีตัวอย่างของ เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled Chiller) ขนาดทำความเย็น 145 ตัน สำหรับอาคารโรงพยาบาล ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร และเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานรายปีระหว่างเครื่อง Chiller เดิมและเครื่องใหม่ที่พิจารณาเปลี่ยนทดแทน

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- เพื่อศึกษาการคำนวณประเมินผลการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ โดยวิธีหาค่า Integrated Part-Load Value (IPLV) ภายใต้อุณหภูมิอากาศท้องถิ่นที่แปรเปลี่ยนรายชั่วโมงตลอดปี และข้อจำกัดของการได้มาของข้อมูลจากการตรวจวัด
- เพื่อนำเสนอแนวทางการคำนวณสำหรับ วิศวกรและผู้รับผิดชอบด้านพลังงานในอาคาร ที่สามารถนำไปใช้ดำเนินการได้ในการปฏิบัติงาน

3. ขอบเขตของงานวิจัย

- ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานของเครื่อง Chiller แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ขนาดทำความเย็น 145 ตัน สำหรับระบบปรับอากาศในอาคารโรงพยาบาลที่มีการทำงาน 24 ชั่วโมง ภายใต้สภาพอุณหภูมิอากาศของจังหวัดกรุงเทพมหานคร ระหว่างเครื่อง Chiller เดิมที่มีอายุการใช้งานมานาน เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับเครื่อง Chiller ใหม่ หากเปลี่ยนมาใช้ทดแทน โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดสมรรถนะการทำงานของเครื่องเดิมขณะทำงาน ณ เพียงเวลาใดเวลาหนึ่งของเดือน เมษายน ในปี 2557 เพียง 1 ครั้ง (ซึ่งเป็นข้อจำกัดปกติโดยส่วนใหญ่ในการตรวจวัดพลังงาน) และข้อมูลสมรรถนะการทำงานของเครื่อง Chiller ใหม่จากผู้ผลิต

- ศึกษาวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางการคำนวณประเมินค่าผลรวมการใช้พลังงานเฉลี่ยรายปี หรือ Integrated Part-Load Value (IPLV) จากข้อมูลป้อนเข้าที่มีอยู่ เพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ปฏิบัติที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษางานวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ตรวจวัดสมรรถนะการใช้พลังงานของเครื่อง Chiller เดิม (CH_{OLD}) ที่ทำงานอยู่ เป็นหน่วยกำลังงานไฟฟ้าต่อขนาดทำความเย็น (kW/ton) โดยใช้ Power Meter ในการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเป็น kW และส่วนขนาดทำความเย็นสามารถคำนวณจากค่าอัตราการไหลและอุณหภูมิของน้ำเย็นที่จ่ายและกลับจากระบบปรับอากาศของอาคาร โดยใช้ Ultrasonic Flow Meter และ Thermometer ที่ติดตั้งในระบบท่อน้ำเย็น ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้มาเป็นค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัดในช่วงเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงในช่วงบ่ายของวันในเดือนเมษายน

- ประมาณสร้างสมการความสัมพันธ์สมรรถนะ (Performance Curve) ระหว่าง kW/ton และ อุณหภูมิอากาศระบายความร้อนของเครื่อง Chiller เดิม จากค่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมา [7,8]

- คัดเลือกเครื่อง Chiller ใหม่ (CH_{NEW}) เพื่อนำมาเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน โดยจัดทำความสัมพันธ์สมรรถนะการทำงานของเครื่อง (Performance Curve) จากข้อมูลของผู้ผลิต โดยใช้ Chiller แบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 145 ตันความเย็น ยี่ห้อ MultiStack รุ่น MSRA145C [9]

- รวบรวมวิเคราะห์ข้อมูล อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายชั่วโมงที่แปรเปลี่ยนตลอดปีของกรุงเทพมหานคร จากข้อมูลที่มีประมวลในโปรแกรม Weather Maker [10]

- จัดทำแบบจำลองภาระการทำความเย็นของอาคารโดยแบ่งเป็น ภาระจากภายในอาคาร (Internal Load) และ ภาระจากภายนอก (External Load) โดยประมาณให้ Internal Load มีค่าประมาณคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิอากาศภายนอก และ External Load มีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยตรง

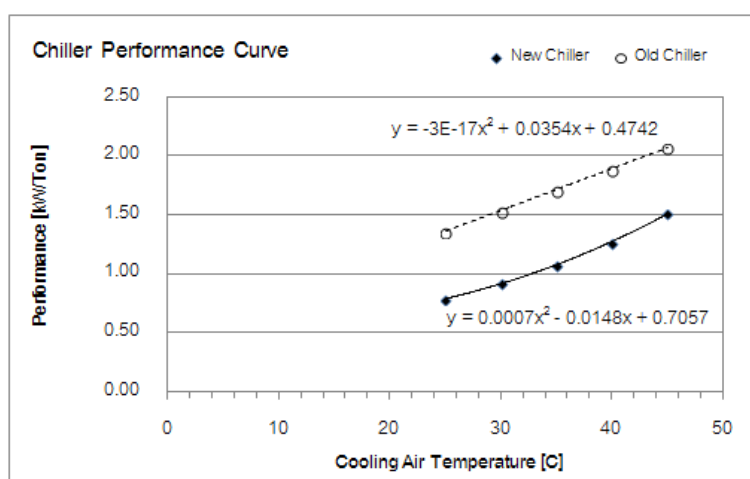
- ประมวลผลการใช้พลังงานเปรียบเทียบระหว่าง Chiller เดิมและใหม่ โดยการคำนวณค่า IPLV จากสมรรถนะการทำงานที่แปรเปลี่ยนของ Chiller จากอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศภายนอกและชั่วโมงการทำงานที่ภาระการทำความเย็นของอาคารต่างๆตลอดปี

5. ผลการวิจัย

การตรวจวัดสมรรถนะการทำงานของเครื่อง Chiller เดิม ขณะทำงานได้ค่าเฉลี่ยดังนี้

- ค่าสมรรถนะการทำงาน เท่ากับ 1.77 kW/ton
- อุณหภูมิอากาศ (Dry-Bulb Temperature) เท่ากับ 97.89 °F หรือ 36.61 °C

โดยจากผลการศึกษาที่ผ่านมา [7,8] รวมถึงข้อมูลจากผู้ผลิตพบว่า ค่าสมรรถนะ (kW/ton) ของเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอที่มีการระบายความร้อนด้วยอากาศ มีค่าแปรผันเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามอุณหภูมิของอากาศระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ในอัตราประมาณ 2% ต่อ 1°C ดังนั้นจึงสามารถนำมาเขียนกราฟ Performance Curve เพื่อหาสมการถดถอยความสัมพันธ์ระหว่าง kW/ton และ อุณหภูมิบรรยากาศ ที่ใช้ในการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ได้ ดังแสดงไว้ในภาพประกอบที่ 1 เปรียบเทียบกับค่า Performance Curve จากผู้ผลิตของ Chiller ใหม่ (MultiStack รุ่น MSRA145C [9]) โดยสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาจะถูกนำไปใช้คำนวณค่ากำลังงานของ Chiller ที่สภาวะการทำงานต่างๆ ได้โดยสะดวก



โดยที่ตัวแปรในสมการ

y = สมรรถนะ kW/ton ของ

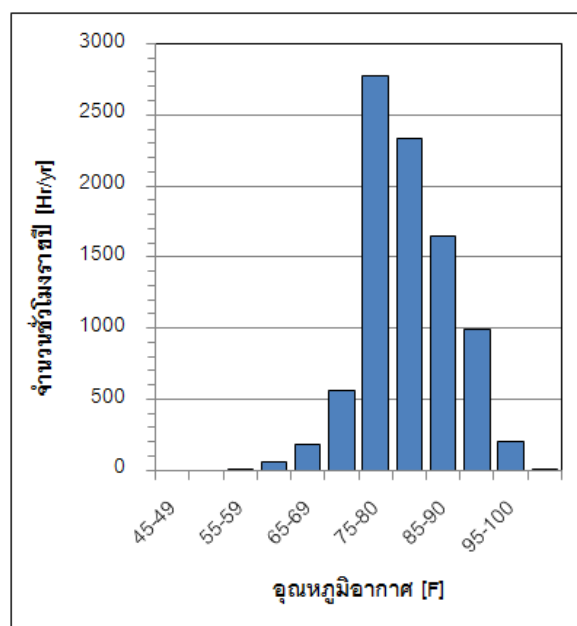
Chiller และ

x = อุณหภูมิอากาศระบายความร้อนที่ คอนเดนเซอร์

ภาพประกอบที่ 1 สมรรถนะการทำงาน (Performance Curve) ของเครื่อง Chiller เดิม (CH_{OLD}) และ Chiller ใหม่ (CH_{NEW}) ที่อุณหภูมิบรรยากาศในการระบายความร้อนต่างๆ

ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Dry Bulb) เฉลี่ยเป็นรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานครจากโปรแกรม Weather Maker [10] ถูกนำมาประมวลผลเพื่อจัดทำเป็นความถี่ของชั่วโมงที่เกิดขึ้นในรอบปีสำหรับแต่ละช่วงอุณหภูมิ ดังแสดงใน ภาพประกอบที่ 2 โดยจำนวนชั่วโมงที่ได้สามารถนำมาคำนวณปริมาณพลังงานเป็นหน่วยไฟฟ้า (kWh) ของเครื่อง chiller ขณะทำงานที่แต่ละช่วงสภาวะอากาศในรอบปี และค่าอุณหภูมิอ้างอิงในการประเมินค่า kW/ton ของเครื่องจากสมการที่แสดงในภาพประกอบที่ 1 จะใช้ค่ากลางของช่วง (Median) ของอุณหภูมิในแต่ละช่วงดังที่ได้แสดงไว้ในตารางเช่นกัน จากข้อมูลเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร ประมาณเกือบ 80% อยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 85 – 100 °F (29.4 – 37.8 °C) โดยมีค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่ 92.3°F (33.5°C)

อุณหภูมิ Dry Bulb			Frequency
Range	Median	Median	
[F]	[F]	[C]	[ชั่วโมง/ปี]
55-59	57.5	14.17	0
60-64	62.5	16.94	0
65-69	67.5	19.72	5
70-75	72.5	22.50	59
75-80	77.5	25.28	177
80-85	82.5	28.06	562
85-90	87.5	30.83	2775
90-95	92.5	33.61	2329
95-100	97.5	36.39	1651
100-105	102.5	39.17	990
105-110	107.5	41.94	205
110-115	112.5	44.72	7
รวม			8760



ภาพประกอบที่ 2 การกระจายความถี่จำนวนชั่วโมงของอุณหภูมิอากาศ (Dry-Bulb) ของกรุงเทพมหานคร

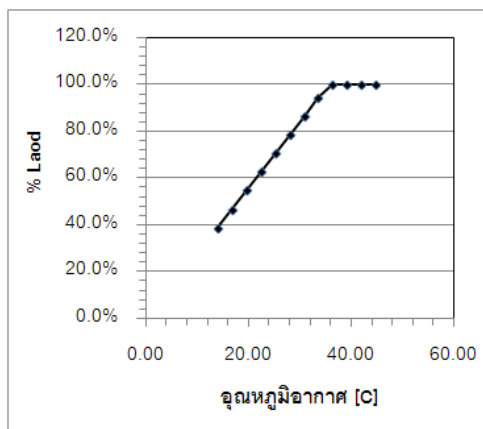
ภาระการทำความเย็นของอาคารจำเป็นต้องถูกจำลองขึ้น เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้า (kW) ที่เครื่อง Chiller ใช้ในการทำงานที่ภาระต่างๆ ความแม่นยำในการสร้างแบบจำลองภาระความร้อนของอาคารสามารถดำเนินการได้ในหลายระดับ แต่หากจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเสนอแนวทางการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนโดยที่วิศวกรและผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามารถใช้เครื่องมือและข้อมูลที่มีจำกัดในการดำเนินการได้ และเป็นการคำนวณเชิงเปรียบเทียบ ดังนั้นประมาณได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นระหว่างกรณี Chiller เดิมและ Chiller ใหม่ เป็นไปในทิศทางเดียวกันและสามารถหักล้างกัน ดังนั้นการจำลองภาระการทำความเย็นของ chiller ตามภาระความร้อนของอาคารสำหรับงานวิจัยนี้สามารถประมาณตามเงื่อนไขดังนี้

- ภาระทำความเย็นรวมแบ่งเป็น ภาระภายใน (internal load) 50% และ ภาระภายนอก (external load) 50% เท่ากัน

- ภาระจากภายในอาคารมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิอากาศภายนอก
- ภาระจากภายนอกมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศ (Dry-Bulb) เป็นเชิงเส้น (Linear)
- เครื่อง Chiller ทำงานเต็มกำลัง (Full Load ที่ 145 tons) ที่ External Load สูงสุด ที่อุณหภูมิออกแบบเท่ากับ 96°F (35.56°C) หรือมากกว่า

- External Load มีค่าเท่ากับศูนย์ที่เกณฑ์อุณหภูมิฐาน degree-day ที่ 18°C โดยหากอุณหภูมิอากาศต่ำกว่า 18°C จะคิดเป็นความเย็นจากบรรยากาศสดแซ่ Internal Load

ดังนั้นได้แบบจำลองความสัมพันธ์ของร้อยละภาระทำความเย็นของเครื่อง Chiller เป็น ร้อยละของภาระการทำความเย็น (% Load) กับอุณหภูมิอากาศ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3



$$\%Load = \%_{int} + \%_{ext} \left[\frac{T_{atm} - T_{base}}{T_{dsg} - T_{base}} \right]$$

โดยที่

%Load = ร้อยละทำความเย็นเทียบกับพิกัดของ Chiller

%_{int} = ร้อยละของภาระจากภายในอาคาร

%_{ext} = ร้อยละของภาระจากภายนอกอาคาร

T_{atm} = อุณหภูมิอากาศภายนอก [°C]

T_{base} = อุณหภูมิฐาน 18°C

T_{dsg} = อุณหภูมิออกแบบ 35.56°C (96°F)

ภาพประกอบที่ 3 แบบจำลองความสัมพันธ์ของภาระทำความเย็นของเครื่อง Chiller กับอุณหภูมิอากาศ

จากข้อมูล Performance Curve ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และ แบบจำลองภาระทำความเย็นของเครื่อง chiller สามารถคำนวณประมาณการใช้พลังงานในแต่ละช่วงอุณหภูมิได้ตามสมการด้านล่าง

$$kWh = \sum [(\%Load)(Chiller_{cap})] \left(\frac{kW}{ton} \right) (hr)$$

kWh = ผลรวมหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปีของเครื่อง Chiller

Chiller_{cap} = ขนาดพิกัดทำความเย็น chiller = 145 tons

%Load = ร้อยละทำความเย็นเทียบกับพิกัดของ Chiller (จากภาพประกอบที่ 3)

kW/ton = สมรรถนะเครื่อง Chiller ที่อุณหภูมิอากาศที่กำหนด (จากภาพประกอบที่ 1)

hr = จำนวนชั่วโมงทำงานในช่วงอุณหภูมิที่กำหนด (จากภาพประกอบที่ 2)

โดยผลการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมทั้งปี (IPLV) เปรียบเทียบระหว่าง Chiller เดิม (CH_{OLD}) และ ใหม่ (CH_{NEW}) สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานเปรียบเทียบระหว่าง Chiller เดิม (CH_{OLD}) และ ใหม่ (CH_{NEW})

อุณหภูมิ	ความถี่	ภาระทำความเย็น		กำลังงาน		พลังงานรวม (IPLV)	
อากาศ	ชั่วโมง	Load	%Load	CH_{OLD}	CH_{NEW}	CH_{OLD}	CH_{NEW}
F	[hour]	[tons]	[%]	[kW]	[kW]	[kWh]	[kWh]
55-60	0	56.7	39.1%	55.3	36.1	0.0	0.0
60-65	0	68.1	47.0%	73.2	44.7	2,341.9	1,430.2
65-70	5	79.6	54.9%	93.3	54.6	31,827.2	18,625.8
70-75	59	91.1	62.8%	115.7	66.2	127,314.3	72,847.3
75-80	177	102.6	70.7%	140.4	79.9	308,603.0	175,569.2
80-85	562	114.0	78.6%	167.3	95.9	348,024.1	199,573.5
85-90	2775	125.5	86.6%	196.5	114.8	258,584.6	151,093.4
90-95	2329	137.0	94.5%	227.9	136.8	218,577.7	131,229.4
95-100	1651	145.0	100.0%	255.5	158.6	133,904.6	83,125.9
100-105	990	145.0	100.0%	269.8	174.0	46,675.7	30,098.3
105-110	205	145.0	100.0%	284.1	190.9	10,510.2	7,062.8
110-115	7	145.0	100.0%	298.3	209.4	0.0	0.0
รวมพลังงาน						1,486,363.3	870,655.8
พลังงานลดลง						615,707.5 kWh/ปี	

จากผลการคำนวณได้ค่าปริมาณการใช้พลังงานรวมต่อปี (IPLV) จากการทำงานของเครื่องภายใต้สภาวะอากาศและภาระทำความเย็นที่แปรเปลี่ยน โดยให้ผลประมาณการใช้พลังงานที่ลดลงจากการทงงานของเครื่อง Chiller ใหม่หากนำมาทดแทนเครื่องเดิมที่มีอยู่ ได้ เท่ากับ 615,707.5 kWh/ปี โดยหากเปรียบเทียบกับวิธีการประเมินผลประหยัดที่ดำเนินการโดยทั่วไปคือใช้ค่าสมรรถนะการทำงานมีค่าคงที่ จากการตรวจวัดที่อุณหภูมิอากาศ 36.61°C ได้เท่ากับ 1.77 kW/ton โดยนำไปเปรียบเทียบกับสมรรถนะเครื่อง Chiller ใหม่ตามข้อมูลของผู้ผลิตที่อุณหภูมิอากาศเดียวกัน (คือ 36.61°C) คือ 1.10 kW/ton จะสามารถประเมินการใช้พลังงานลดลงเท่ากับ ผลคูณของส่วนต่างสมรรถนะ (1.77-1.10 kW/ton) พิกัดขนาดทำความเย็นของ chiller (145 tons) และชั่วโมงทำงานต่อปี (8,760 hr/yr) ได้เท่ากับ 851,034 kWh/ปี ซึ่งสูงกว่าการประเมินแบบวิธี IPLV ถึง 38.2% เป็นการประเมินค่าผลประหยัดที่สูงเกินจริงไปอันเนื่องมาจากค่าสมรรถนะที่ใช้อ้างอิงในการคำนวณไม่ได้เป็นตัวแทนของสภาวะการทำงานในช่วงเวลาทั้งหมดตลอดทั้งปี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจลงทุนของผู้ประกอบการในการดำเนินอนุรักษ์พลังงานได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

6. สรุป

งานวิจัยศึกษาแนวทางการประเมินค่าการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) แบบระบายความร้อนด้วยอากาศสำหรับการใช้งานในระบบปรับอากาศ โดยใช้วิธีการคำนวณหาผลรวมพลังงานเฉลี่ยทั้งปี หรือ Integrated Part-Load Value (IPLV) อันเนื่องมาจากความเป็นจริงที่สมรรถนะเครื่องปรับอากาศและอัตราการใช้

พลังงานมีค่าแปรเปลี่ยนตลอดเวลาในระหว่างการทำงานระหว่างปี จากอิทธิพลของสภาวะอุณหภูมิบรรยากาศของท้องถิ่นและภาระความร้อนของอาคารที่เปลี่ยนแปลง เพื่อเป็นแนวทางให้แก่วิศวกรผู้ออกแบบระบบปรับอากาศและผู้รับผิดชอบพลังงานของอาคารได้นำไปประยุกต์ใช้ แทนวิธีการประเมินผลแบบเดิมซึ่งมักใช้การเปรียบเทียบค่าสมรรถนะการทำงานของเครื่อง (kW/ton) เป็นค่าคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง เป็นผลให้การประมาณปริมาณการใช้พลังงานรวมทั้งปีอาจมีค่าแตกต่างจากที่เกิดขึ้นจริงไปได้มาก การศึกษาในขั้นนี้มุ่งเน้นการกำหนดวิธีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนและประมาณจากข้อจำกัดของการได้มาซึ่งข้อมูลตรวจวัดที่สามารถกระทำได้ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของการทำงานของ chiller เท่านั้น โดยนำมาสร้างความสัมพันธ์ performance curve ของเครื่อง chiller รวมถึงการสร้างแบบจำลองภาระการทำความเย็นของอาคารที่แปรผันตามอุณหภูมิอากาศของท้องถิ่นซึ่งเป็นข้อมูลสถิติสภาพอากาศของท้องถิ่นที่มีการเผยแพร่ต่อสาธารณะ โดยเมื่อประมวลผลคำนวณปริมาณการใช้พลังงานหรือค่า IPLV เปรียบเทียบระหว่าง chiller เดิมที่ใช้อยู่ กับ chiller ใหม่ ได้ค่าผลพลังงานที่ลดลงได้แตกต่างจากการคำนวณโดยวิธีปกติ (ใช้ค่าสมรรถนะคงที่) ถึง 38.2%

7. ข้อเสนอแนะ

แนวทางการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานรวมของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศแบบ IPLV จะให้ค่าการประเมินที่ใกล้เคียงความเป็นจริงกว่าวิธีที่ดำเนินการโดยทั่วไป เนื่องจากได้ผนวกปัจจัยของการแปรเปลี่ยนสมรรถนะของเครื่องจากการทำความเย็นของอาคารและอุณหภูมิอากาศของท้องถิ่น อย่างไรก็ตามระดับความแม่นยำของการประเมินสามารถพัฒนาให้สูงขึ้นได้หากสามารถสร้างแบบจำลองภาระความร้อนของอาคารด้วยวิธีการที่สลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น เช่นการใช้โปรแกรมจำลองทางความร้อนที่คำนวณปัจจัยต่างๆได้ละเอียดยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาวิจัยจะได้ขยายผลสำหรับการประเมิน IPLV สำหรับระบบปรับอากาศที่ใช้เครื่อง Chiller แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งสมรรถนะการทำงานจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ กระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] “เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตรมาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร ตามเกณฑ์มาตรฐานการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร (เกณฑ์ใหม่) ภายใต้อ พ.ร.บ. การส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550”, กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ตุลาคม 2550
- [2] พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550
- [3] กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552, ให้ไว้ ณ วันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2552, รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน
- [4] ชลธิศ เอี่ยมวรวิภูกุล, พ.ศ. 2549, “การใช้ปริมาณพลังงานเฉลี่ยรวมจากการทำความเย็นที่แปรเปลี่ยนสำหรับการพิจารณาเลือกใช้เครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมในระบบปรับอากาศ,” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

- [5] “คู่มือการอบรมผู้รับผิดชอบด้านพลังงานสามัญและวิทยาการในอาคาร: ตอนที่ 3 บทที่ 4 ระบบปรับอากาศ,” จัดทำโดย บริษัท ไบรท์เมเนจเม้น คอนซัลติ้ง จำกัด, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, พศ.2553
- [6] AHRI Standard 550/590, 2011, “Standard for Performance Rating of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages using the Vapor Compression Cycle,” Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute, USA.
- [7] Eiamworawutthikul, C., 1997, “Hierarchical Control in a Refrigeration System,” Thesis Report, Master of Science, Department of Mechanical Engineering and Energy Processes, Southern Illinois University, USA.
- [8] พยงค์ อินทรโชติ, เฉลิมศักดิ์ รักษานุ่น, ปิยะวัฒน์ สุขคง, ธนายุทธ ทิพย์เมือง, 2549, "โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบความเย็นแบบอัดไอ", วิทยานิพนธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- [9] Multistack, Product Catalog: MegLev Air-Cooled Chiller MSRA145C, www.multistack.com, USA.
- [10] U.S. National Renewable Energy Laboratory, 2002, Weather Maker Software version 1.01, A Weather Data Utility for Energy-10.

**อิทธิพลของพีเอชและระยะเวลาการสังเคราะห์ซิลิกาที่มีรูพรุนทรงกลมกลวง
จากโซเดียมซิลิเกตโดยใช้หางน้ำยางธรรมชาติเป็นสารแม่แบบ**
**EFFECTS OF pH AND ELAPSED TIME ON THE
SYNTHESIS OF HOLLOW SILICA SPHERE FROM SODIUM SILICATE
USING SKIM RUBBER AS A TEMPLATE**

กนกวรรณ จันทวัชชัย

นิสิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: g5614502025@ku.ac.th

นันทิยา หาญสุกัลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengnyh@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลเบื้องต้นของพีเอชและเวลาในการสังเคราะห์ที่มีผลต่อการเกิดรูปร่างของผลิตภัณฑ์ซิลิกาทรงกลมกลวง (HSS) จากโซเดียมซิลิเกต โดยใช้หางน้ำยางธรรมชาติเป็นสารแม่แบบและใช้ Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) เป็นสารกำหนดโครงสร้าง จากการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา (TEM) ยืนยันว่าการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ปรับพีเอชเป็น 4 หรือ 10 แล้วปรับพีเอชครั้งที่สองลงเป็น 7 สามารถให้ซิลิกาที่มีรูปร่างกลมกลวงเหมือนกัน คือมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 100–200 นาโนเมตร และมีผนังหนาประมาณ 10 นาโนเมตร การปรับพีเอชก่อนการเติม CTAB (ครั้งที่ 1) จึงไม่มีผลต่อรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่การปรับพีเอชหลังเติมโซเดียมซิลิเกตเป็นพีเอช 7 (ครั้งที่ 2) ส่งผลให้เกิดรูปร่างของ HSS เนื่องจากการปรับพีเอชเป็น 7 นี้มีผลต่อความแข็งแรงของพันธะระหว่างอนุภาคยางและซิลิกาที่ยึดเหนี่ยวกัน ในส่วนของระยะเวลาของการสังเคราะห์ สารสังเคราะห์ที่ 2 หรือ 24 ชั่วโมง ถ้าไม่มีการปรับพีเอชครั้งที่ 2 จะให้ผลที่เหมือนกันคือมีลักษณะเป็นวัสดุรูพรุน ไม่ปรากฏทรงกลมกลวง ดังนั้นระยะเวลาการสังเคราะห์ซึ่งเริ่มนับหลังจากที่ใส่โซเดียมซิลิเกตจึงไม่ได้ส่งผลต่อรูปร่างของผลิตภัณฑ์

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ โซเดียมซิลิเกต สารลดแรงตึงผิว รูพรุนทรงกลมกลวง

ABSTRACT

The work reported the primary results of synthesis of hollow silica sphere (HSS) from sodium silicate using skim natural rubber and Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) as a template and structure-directing agent, respectively. The effects of pH and elapsed time on the product shape (i.e. whether the product was HSS or a porous material) were investigated. The TEM results confirmed that the samples synthesized at pH 4 or 10, followed by the second pH adjustment to pH 7, were HSS. The spheres' diameter was in the range of 100–200 nm and the wall thickness was 10 nm. The first pH adjustment did not significantly affect the products, but the second pH adjustment did. The sample without the second pH adjustment was not HSS, but simply a porous material. This is due to the strength of the interactions between the rubber particles and the silicas and to the strength of the wall. The influence of the elapsed time (2 vs 24 h) on the product shape was not detectable.

KEYWORDS : Natural rubber, Sodium silicate, Surfactant, Hollow silica sphere

บทนำ

ซิลิกาทรงกลมกลวง (Hollow silica sphere, HSS) คือซิลิกาที่มีรูปร่างทรงกลม โดยภายในจะกลวง ทั้งนี้เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม ความหนาของผนัง และรูพรุนของผนังมีค่าอยู่ในช่วงนาโนเมตร (ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม > ความหนาของผนัง > ขนาดรูพรุนของผนัง) ปัจจุบันได้มีการศึกษาการใช้ประโยชน์ของ HSS ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านระบบนำส่งยา (drug delivery) เพราะ HSS มีความจุ (Storage capacity) และพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ที่สูง จึงสามารถเก็บกักยาได้มาก ในขณะที่รูพรุนของผนังมีขนาดเล็ก จึงสามารถควบคุมอัตราการปลดปล่อยยาได้ง่าย (Drug release rate) (Chun L. et al., 2012; Zhu Y. et al., 2005; Chena Q. et al., 2013)

HSS สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยกระบวนการโซล-เจล ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญคือ สารโครงสร้างหลักคือ นินทรีซ์ (หรือแหล่งซิลิกา) สารแม่แบบ สารกำหนดโครงสร้าง สารลดแรงตึงผิวและตัวทำละลาย (อรอนงค์, 2554) ในการสังเคราะห์ HSS นั้นจำเป็นต้องทำให้แหล่งซิลิกาสามารถรวมตัวกับสารแม่แบบได้ (โดยใช้แรงกระทำทุติยภูมิ เช่น แรงดึงดูดของประจุตรงข้ามกัน และไฮโดรโฟบิก เป็นต้น) สารที่ได้จะมีรูปร่างทรงกลม ในภายหลังเมื่อกำจัดสารแม่แบบแล้ว (เช่น การเผาที่อุณหภูมิสูง หรือการสกัดออกไปด้วยตัวทำละลาย เป็นต้น) (Eric M., 2010) ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะเป็นทรงกลมที่กลวง รูพรุนของผนังนั้นมักเกิดจากการสลายตัวของสารแม่แบบที่เกิดจากการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิวเป็นไมเซลล์ (Micelle) (LIU Chun, 2012)

งานวิจัยนี้สนใจการปรับปรุงการผลิต HSS ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น โดยเน้นการใช้วัสดุธรรมชาติที่มีราคาถูก หาได้ง่ายภายในประเทศ เพื่อลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นจึงได้เลือกใช้อุณหภูมิในทางน้ำยางธรรมชาติเป็นสารแม่แบบ (ทำให้เกิดทรงกลมกลวง) ซึ่งจัดเป็นของเสียของโรงงานผลิตน้ำยางขึ้น นอกจากนี้ก็ได้ใช้โซเดียมซิลิเกตเป็นแหล่งให้ซิลิกา ซึ่งสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น เถ้าแกลบ และขานอ้อย (พัชรินทร์, 2553) แต่เนื่องจากสารแม่แบบยางธรรมชาตินี้กับโซเดียมซิลิเกตมีประจุสุทธิเหมือนกัน ทำให้

จำเป็นต้องใช้สารกำหนดโครงสร้าง (ในที่นี้ใช้ Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) ร่วมด้วย บทความนี้ได้รายงานอิทธิพลของพีเอชและเวลาของการสังเคราะห์ HSS ซึ่งผลที่ได้จัดเป็นผลเบื้องต้น ที่จะนำไปสู่การควบคุมลักษณะของ HSS ที่เหมาะสมกับการใช้งานประเภทต่างๆ Z

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

สารเคมี

ยางน้ำยางธรรมชาติ (Dry Rubber Content = 5.15%) โซเดียมซิลิเกต (29.12%wt. SiO₂, PQ corporation) กรดไฮโดรคลอริก (36.5-38.0 %wt purity, J.T. Baker) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (99 %wt purity, MERCK) Cetyltrimethyl ammonium bromide (CTAB: 99 %wt purity, Fluka) สารทุกชนิดใช้โดยตรง (ไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์)

การเตรียม HSS

วิธีที่ 1 เจือจางยางน้ำยางในน้ำปราศจากประจุให้มีความเข้มข้น 800 ppm ปรับค่าพีเอชด้วยกรดหรือด่าง และเติม CTAB ลงไป กวนนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต (อัตราส่วนโดยน้ำหนักของเนือยาง:CTAB:ซิลิกา เป็น 1:0.44:1) กวน 2 ชม. ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสแล้วปรับพีเอชอีกครั้งให้เป็น 7 แล้วกวนต่ออีก 22 ชั่วโมง เหยี่ยงและล้างของแข็งที่ได้ด้วยน้ำปราศจากประจุ อบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง ทำการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

วิธีที่ 2 ทำเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ปรับพีเอชเพียงครั้งเดียว (เท่ากับ 10) ในช่วงก่อนเติม CTAB และภายหลังจากที่เติมสารละลายโซเดียมซิลิเกตแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการกวน (2 และ 24 ชม.) ก่อนที่จะนำไป เหยี่ยงล้าง อบแห้ง และเผาตามสภาวะที่ระบุในวิธีที่ 1

การวิเคราะห์

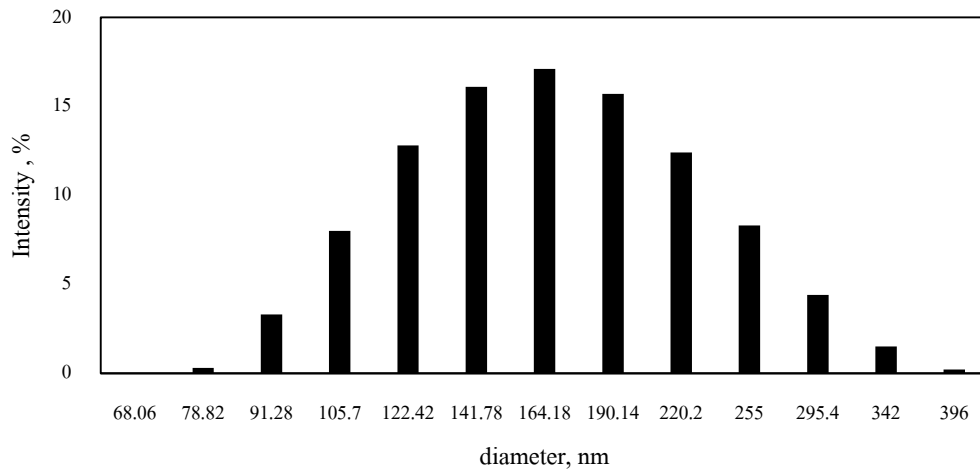
ขนาดของอนุภาคยางและประจุที่ผิวของอนุภาคยางในยางน้ำยางวัดด้วยเครื่อง Zetasizer (Nano-ZS90; Malvern) ที่ 25 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ยางน้ำยางจะถูกเจือจางด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ (ค่าความแรงของประจุ 0.05 M) ที่พีเอช 1-9 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโครงสร้างรูพรุนของ HSS วิเคราะห์ด้วย Transmission electron microscopy, TEM (JEM-2100 LaB6; JEOL) และ Scanning Electron Microscope, SEM (JSM-5410 LV, JEOL)

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

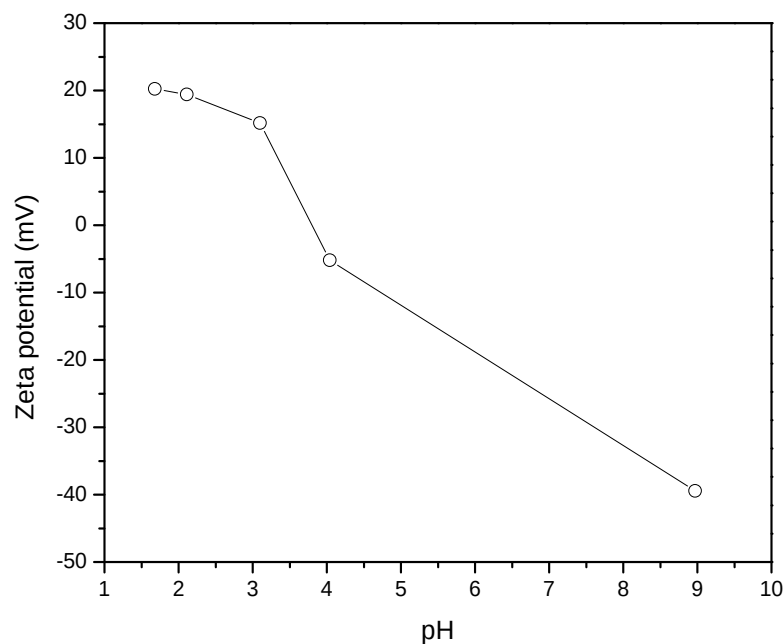
ขนาดและประจุสุทธิของอนุภาคยาง

อนุภาคยางในยางน้ำยางธรรมชาติที่ได้มาโดยตรงมีขนาดอยู่ในช่วง 78-400 นาโนเมตร โดยขนาดเฉลี่ยคือ 175.5 นาโนเมตร (ภาพที่ 1) ในขณะที่ประจุสุทธิของอนุภาคยางนั้น พบว่าเปลี่ยนแปลงตามพีเอช ดังแสดงในภาพที่ 2 โดยประจุสุทธิบนพื้นผิวของอนุภาคยางเป็นบวกที่พีเอชต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กทริก (Isoelectric point) ซึ่งเท่ากับ 3.7 และมีค่าเป็นลบที่พีเอชสูงกว่าจุดไอโซอิเล็กทริกนี้ ซึ่งสอดคล้องกับบทความอื่นๆ (พรชนก, 2551) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของประจุสุทธิบนพื้นผิวของอนุภาคยางตามค่าพีเอช เป็นผลจากโปรตีนและไขมันที่ล้อมรอบอนุภาคยาง (ชรินทร์, 2542) สำหรับโซเดียมซิลิเกตนั้น ซึ่งประกอบด้วยซิลิกาขนาดเล็ก (โอลิโกเมอร์) ได้มีการ

รายงานไว้แล้วว่าจุดไอโซอิเล็กทริกมีค่าประมาณ 3 โดยที่พีเอชสูงกว่า 3 ซิลิกาที่มีประจุสุทธิเป็นลบและมีค่าประจุสุทธิเป็นลบมากขึ้นเมื่อเพิ่มพีเอช และที่พีเอชต่ำกว่า 3 ประจุสุทธิเป็นบวก (Lim H. et al., 2010)



ภาพที่ 1 การกระจายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคยางในทางน้ำยาง



ภาพที่ 2 ค่า Zetapotential ของทางน้ำยางธรรมชาติในสารละลายบัฟเฟอร์ (ค่าความแข็งแรงประจุเท่ากับ 0.05 M)

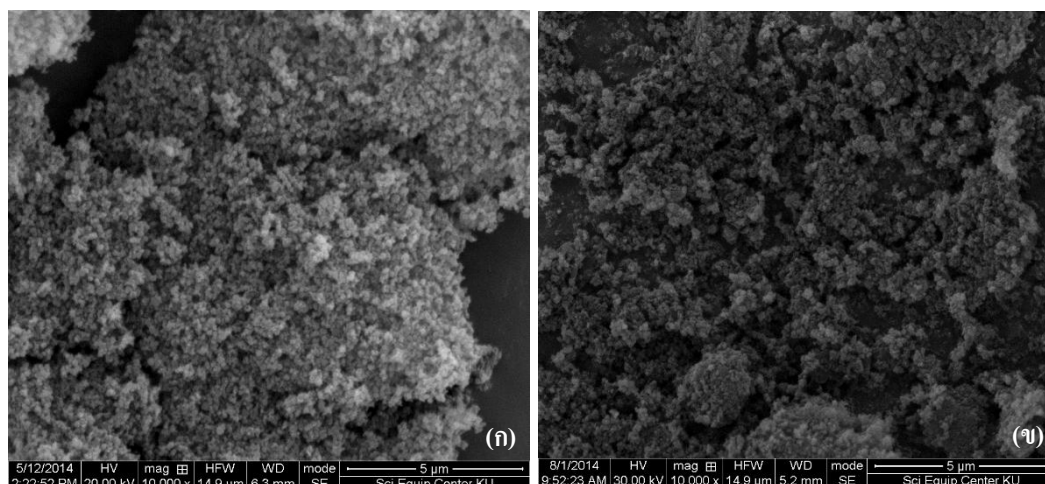
เนื่องจากที่พีเอชต่ำมากนั้น (ประมาณ 3) อนุภาคยางในทางน้ำยางสามารถจับตัวกันได้ ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดของ HSS ที่จะใหญ่มาก (จนอาจเกินระดับนาโนเมตร) ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการจับตัวเป็นก้อน พีเอชจึงควรสูงกว่า 3 ขณะเดียวกันงานวิจัยนี้ก็พบว่าซิลิกาไม่เกิดการควบแน่นที่พีเอชสูงกว่า 10 ด้วยเหตุนี้พีเอชที่สนใจในงานนี้จึงมีค่าเป็น 4 และ 10 โดยในช่วงนี้ประจุสุทธิของอนุภาคยางและซิลิกาในโซเดียมซิลิเกตเป็นลบเหมือนกัน

และมีค่าเป็นลบมากขึ้นเมื่อเพิ่มพีเอช (ค่าประจุสุทธิของสารทั้งสองที่พีเอช 10 มีค่าสูงกว่าที่พีเอช 4) จึงจำเป็นต้องใช้สารลดแรงตึงผิว CTAB ที่มีประจุสุทธิเป็นบวก โดยคาดว่าสารนี้จะทำหน้าที่ทั้งเป็นตัวกำหนดโครงสร้าง (ทำให้ซิลิกาสามารถเกาะบนผิวอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่กว่าได้) และสามารถทำหน้าที่เป็นสารแม่แบบที่ทำให้เกิดรูพรุนที่ผนังของ HSS ได้

การสังเคราะห์ตามวิธีที่ 1 โดยปรับพีเอชเป็น 4 และ 10 (ก่อนการเติม CTAB) สามารถให้ HSS ดังแสดงในภาพที่ (4ก) และ (4ข) ซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมของสภาวะที่ได้เลือกศึกษานี้ รายละเอียดได้อภิปรายในหัวข้อถัดไป

ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ HSS

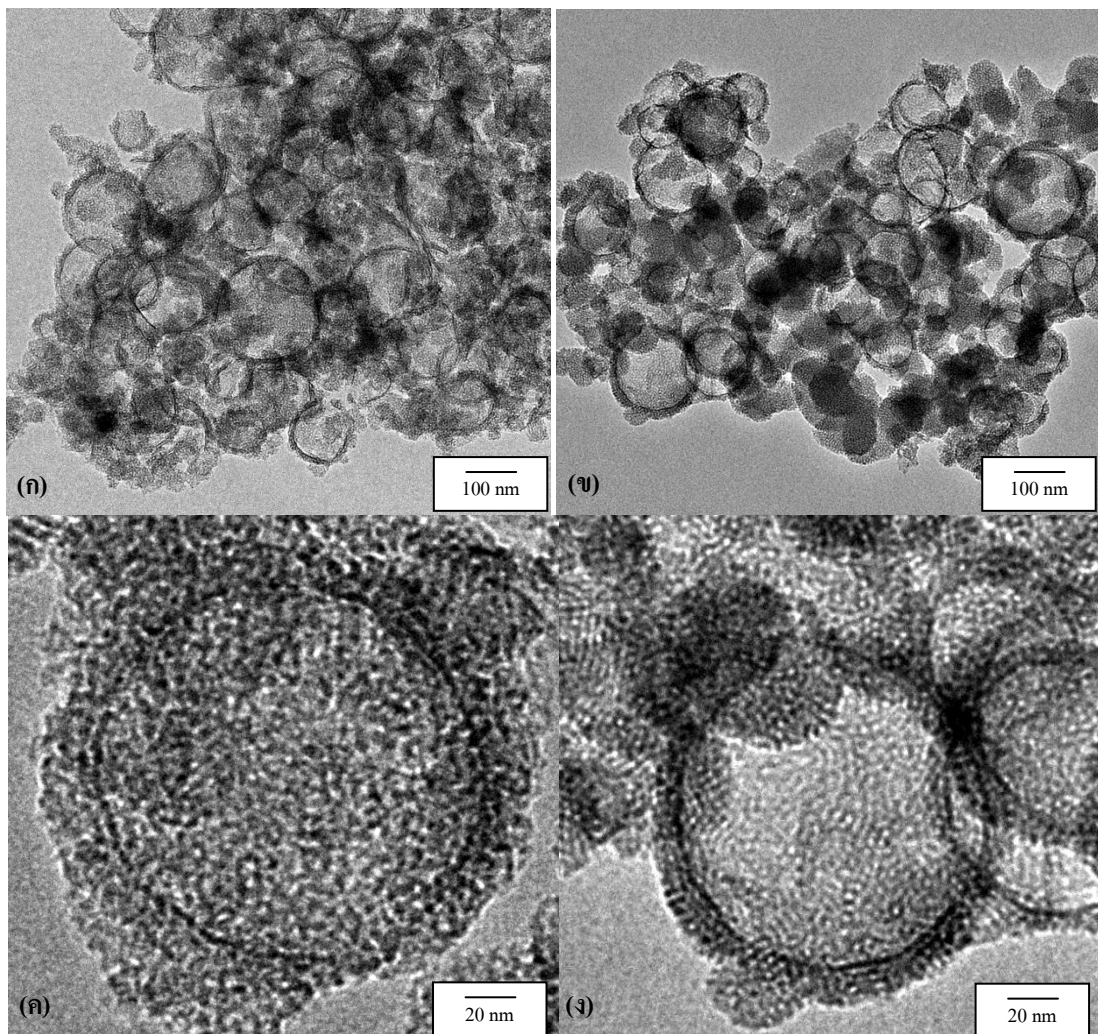
HSS ที่สังเคราะห์แบบวิธีที่ 1 และ 2 มีโครงสร้างสัณฐานวิทยาที่วิเคราะห์ด้วย SEM ที่เหมือนกัน (ภาพที่ 3) โดยสามารถเห็นอนุภาคที่มีรูปร่างค่อนข้างกลมชัดเจน แต่ไม่เห็นความกลวงของอนุภาคเหล่านี้ ดังนั้นจึงต้องวิเคราะห์อนุภาคเดียวกันนี้ด้วย TEM (ภาพที่ 4 และ 5)



ภาพที่ 3 โครงสร้างสัณฐานวิทยา(SEM) ของ HSS ที่สังเคราะห์ที่พีเอช 10

(ก) สังเคราะห์วิธีที่ 1 (ข) สังเคราะห์วิธีที่ 2

การสังเคราะห์วิธีที่ 1 ให้วงกลมกลวงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของผนังในระดับนาโนเมตร (ภาพที่ 4) ซึ่งเป็นลักษณะของ HSS (Huo N. et al., 2010; Chun L. et al., 2012) โดยการเปลี่ยนแปลงพีเอชก่อนเติม CTAB (ปรับพีเอชครั้งที่ 1) ไม่ได้ส่งผลต่อรูปร่างของ HSS ชัดเจนนัก (ภาพที่ 4ก และ 4ข) แม้ว่าแรงกระทำระหว่างอนุภาคยางกับซิลิกาจะไม่คืนที่พีเอชสูง ($\text{pH} = 10$) ซึ่งเป็นผลจากการที่ประจุสุทธิบนผิวของทั้งสองมีค่าเป็นลบที่สูงมาก โดยขนาดของ HSS มีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 100–200 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงเดียวกับขนาดของอนุภาคของยางที่ได้มาโดยตรง (ภาพที่ 1) ผลนี้จึงเป็นหลักฐานว่าสารแม่แบบที่ทำให้เกิดความกลวงนี้เป็นอนุภาคยางเดี่ยว ไม่มีการจับตัวกัน ในส่วนรูพรุนของผนังสังเกตเห็นรูพรุนขนาดประมาณ 3–5 นาโนเมตร

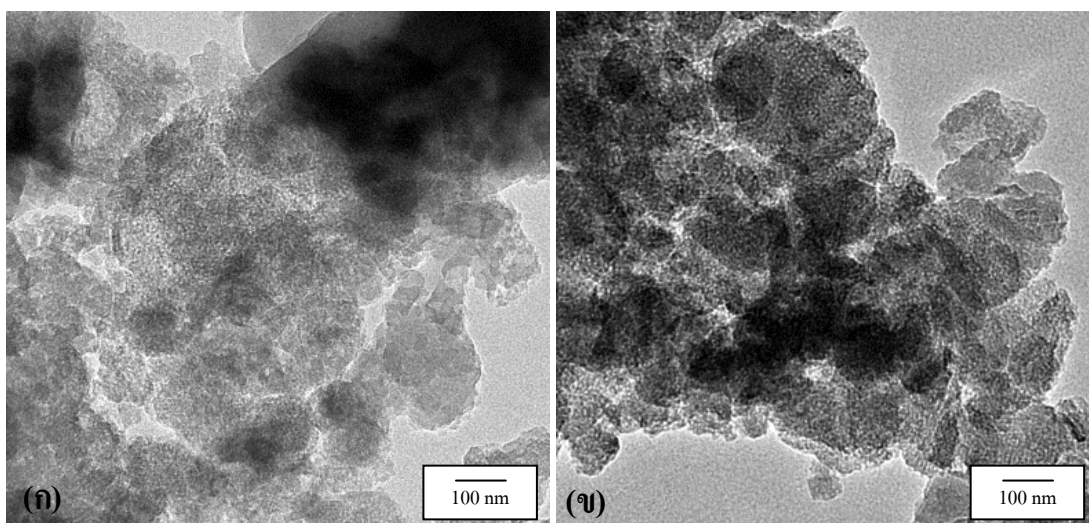


ภาพที่ 4 โครงสร้างสัณฐานวิทยา(TEM) ของ HSS ที่สังเคราะห์ (ก) พีเอช 4 (ข) พีเอช 10
(ค) พีเอช 4 ที่กำลังขยายสูง (ง) พีเอช 10 ที่กำลังขยายสูง (วิธีการสังเคราะห์แบบที่ 1)

จากภาพที่ 5 โครงสร้างสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสังเคราะห์ตามวิธีที่ 2 (ไม่ปรับพีเอชครั้งที่ 2) มีลักษณะเป็นวัสดุที่มีรูพรุน (Porous material) ซึ่งไม่ใช่ลักษณะของ HSS นอกจากนี้ระยะเวลาของการสังเคราะห์ ซึ่งเริ่มนับหลังจากที่ใส่โซเดียมซัลไฟด์ (2 และ 24 ชั่วโมง) ไม่ได้มีผลต่อรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (ภาพที่ 5) โดยยังคงเป็นวัสดุที่มีรูพรุน แต่การปรับพีเอช (ครั้งที่ 2) ลงมาที่ 7 (วิธีสังเคราะห์วิธีที่ 1) กลับให้ผลที่แตกต่างอย่างมาก โดยสามารถให้ HSS ได้

สาเหตุที่วิธีที่ 2 ไม่สามารถให้ HSS ได้ น่าจะมาจากการที่ประจุสุทธิของอนุภาคยางและซิลิกามีค่าเป็นลบ และต่างก็มีขนาดประจุที่สูงมากที่พีเอช 10 เมื่อเทียบกับที่พีเอช 7 (ภาพที่ 2) ทำให้การผลักกันของสารทั้งสองมีค่าสูง แรงกระทำระหว่างสารที่ยึดเหนี่ยวกันจึงไม่แข็งแรง (Very weak interaction) นอกจากนี้ที่พีเอช 10 อัตราการควบแน่นของซิลิกามีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับพีเอช 7 (Lim H. et al., 2010) ทำให้ผนังซิลิกาของ HSS ไม่แข็งแรง คำอธิบายนี้สอดคล้องกับสิ่งที่สังเกตได้จากการทดลองในงานนี้ด้วย คือ หลังจากที่ยุติการสังเคราะห์ (ก่อนการเหวี่ยงล้าง) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ แต่เมื่อนำไปเหวี่ยง

ล้าง ได้พบการหลุดของยางออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์จากวิธีที่ 2 แต่ไม่พบการหลุดของยางออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีที่ 1 นั้นแสดงว่าการสังเคราะห์ทั้งสองวิธีนี้สามารถให้ HSS ได้ แต่วิธีที่ 2 โครงสร้างของ HSS ไม่แข็งแรง จึงถูกทำลายด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง นอกจากนี้ชิ้นส่วนของ HSS ที่ถูกทำลายขณะเหวี่ยงล้างนี้ ยังถูกทำลายต่อไปได้อีกขณะอบแห้ง เพราะน้ำที่ระเหยไป ทำให้อนุภาคซิลิกาเข้าใกล้กันและเกิดการควบแน่น (Phatharachindanuwoong et al., 2014) ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการแคลซินั่นไม่มีลักษณะของวงกลมกลวง (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 โครงสร้างสัณฐานวิทยา(TEM) ของ HSS ที่สังเคราะห์ตามวิธีที่ 2 โดยระยะเวลาการกวนหลังจากที่เติมโซเดียมซิลิเกต เป็น (ก) 2 ชม. (ข) 24 ชม.

สรุป

HSS สามารถเกิดขึ้นได้ตามวิธีการสังเคราะห์ที่ 1 โดยพีเอชของระบบก่อนการเติม CTAB สามารถมีค่าเป็น 4 หรือ 10 ได้ แต่หลังจากที่เติมโซเดียมซิลิเกตแล้ว ควรลดพีเอชเป็น 7 เพราะที่พีเอชนี้ อัตราการควบแน่นของซิลิกาสูง ทำให้ผนังของ HSS แข็งแรง โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีการสังเคราะห์ที่ 1 นี้เป็น HSS ที่มีลักษณะเหมือนกันคือ เป็นทรงกลมกลวง ที่มีขนาดประมาณ 100-200 นาโนเมตร และผนังของทรงกลมนี้นี้นพบลักษณะรูพรุนประมาณ 3-5 นาโนเมตร ส่วนอิทธิพลของระยะเวลาการสังเคราะห์ ซึ่งเริ่มนับตั้งแต่หลังจากที่เติมโซเดียมซิลิเกต ลงในถังปฏิกรณ์แล้ว ไม่ได้ส่งผลต่อรูปร่างของผลิตภัณฑ์นักโดยให้วัสดุที่มีรูพรุนเหมือนกัน แต่เป็นเพราะว่าการทดลองในส่วนนี้ ไม่ได้มีการปรับพีเอชหลังจากเติมโซเดียมซิลิเกตให้เป็น 7 ดังนั้นเพื่อให้เห็นอิทธิพลของระยะเวลาการสังเคราะห์ต่อการเกิด HSS จำเป็นต้องทำการทดลองแบบที่มีการลดพีเอชเป็น 7 ซึ่งจะเป็นงานที่กำลังทำอยู่ในขณะนี้

เอกสารอ้างอิง

ชรินทร์ เตชะพันธุ์. (2542). การทำโปรตีนให้บริสุทธิ์. 2557. http://202.28.24.44/e_books/protein/protein.html
พัชรินทร์ วรรณกุล. Sol-gel เทคโนโลยีสังเคราะห์ซิลิกาจากขานอ้อย. ส่งเสริมเทคโนโลยี, ฉบับที่ 209. 39-43.

- พรชนก กังวีระนนท์ (2551). การเชื่อมขวางโมเลกุลยางธรรมชาติที่ถูกดัดแปลงเป็นยางคลอริเนตโดยใช้กรดซิลิซิกเป็นสารเชื่อมขวาง. วิทยุวิสหกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.
- Chena, Q., Friman, M., Vilonen, K., & Hannula, S. P. (2013). The control of size and surface morphology of silica microspheres by sol-gel emulsion approach. **Sci. Technol.**, 20, 89-98.
- Chun, L., Wang, A., Yin, H., Shen, Y. & Jiang, T. (2012). Preparation of nanosized hollow silica spheres from Na_2SiO_3 using Fe_3O_4 nanoparticles as templates. **Particuology**, 10, 352-358.
- Chun, L., Wang, A., Yin, H., Shen, Y. & Jiang, T. (2012). Size-controlled preparation of hollow silica spheres and glyphosate release. **Trans. Nonferrous Met. Soc., China**, 22, 1161-1168.
- Eric M. Munoz, R. & Acuna, R. H. (2010). Sol Gel-Derived SBA-16 Mesoporous Material. **Int. J. Mol. Sci.**, 11, 3069-3086.
- Hao, N., Wang, H., Webley, W.P., & Zhao, D. (2010). Synthesis of uniform periodic mesoporous organosilica hollow spheres with large-pore size and efficient encapsulation capacity for toluene and the large biomolecule bovine serum albumin. **Microporous and Mesoporous Materials**, 132, 543-551.
- Lim H. M., Lee J., Jeong J. H., Oh S. G. Lee & Lee, S. H. (2010). Comparative Study of Various Preparation Methods of Colloidal Silica. **Engineering**, 2, 998-1005.
- Phatharachindanuwig, C., Hansupalak, N., Chareonpanich, M., Chisti, Y., Limtrakul, J., & Plank, J. (2014). Morphology and adsorption capacity of sodium silicate-based hierarchical porous silica templated on natural rubber: Influence of washing-drying methods. **Materials Letters**, 130, 206-209.
- Zhu, Y.-f., Shi, J.-l., Li, Y.-s., Chen, H.-r., Shen, W.-h., & Dong, X.-p. (2005). Storage and release of ibuprofen drug molecules in hollow mesoporous silica spheres with modified pore surface. **Microporous and Mesoporous Materials**, 85(1-2), 75-81.

การทำนายพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของชุดประกอบระบบจานเบรก

ด้วยเทคนิคอิมพีแดนซ์คัปปลิง

DYNAMIC BEHAVIOR PREDICTION OF CAR BRAKING MODULE WITH IMPEDANCE COUPLING TECHNIQUES

สิทธิชัย ทรัพย์เกรียงไกร

ผศ.ดร.จักร จันทลักขณา

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: samuri_12@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงสร้างประกอบระบบเบรกที่ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนได้แก่ จานเบรก (Brake disc) ผ้าเบรก (Brake pad) ก้ามเบรก (Caliper) ดุมล้อ (Hub) และหัวต่อแกนล้อ (Knuckle) เมื่อประกอบเข้าด้วยกันเป็นชุดประกอบจะมีการหน่วงแบบเสียดทาน (Friction damping) เข้าร่วมในระบบทำให้การสร้างแบบจำลองเชิงโหมดการสั่น (Modal model) ไม่สามารถระบุความเป็นโหมดได้ชัดเจน การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการแบบเทคนิคการคัปปลิงโครงสร้างย่อย (Sub structuring) เข้าด้วยกันเป็นวิธีการที่นิยม เพื่อให้ได้แบบจำลองเชิงโหมดโครงสร้างย่อยที่ระบุโหมดแบบโหมดจริงได้ชัดเจน โดยทำการคัปปลิงแบบจำลองเชิงโหมดของโครงสร้างย่อยหลายๆ ชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน และทำการอัปเดตค่าการหน่วงของโหมดภายหลังตั้งแต่ละชิ้นส่วนและชุดประกอบ จะทำให้ได้แบบจำลองของชุดประกอบที่มีความถูกต้องเชื่อถือได้มากกว่า พลศาสตร์โครงสร้างประกอบระบบเบรกที่ศึกษาด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะนำมาเปรียบเทียบกับแบบจำลองเชิงโหมดของชุดประกอบที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิคคัปปลิงโครงสร้างเพื่อศึกษาความถูกต้องของเทคนิคการคัปปลิง และข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

คำสำคัญ: โครงสร้างย่อย, แบบจำลองโมดัล, การสั่นจานเบรก

ABSTRACT

The brake module is consisted of a brake disc, a hub, and a knuckle. These components are treated as a main module which the friction damping is introduced to the assembly. Then the modes of vibration are difficult to identify for using in the modal model. Sub-structuring technique is commonly used as the method for constructing the modal model that can describe the dynamic behavior of the real structure. The modal model of each component is constructed where the damping is applied to the model of components and the assembly.

In this study, the finite element model of the assembly module will be used for comparing with the sub-structuring techniques to study on accuracy of the techniques and its limitation.

KEY WORDS: Sub-structuring, Modal Analysis, Brake Disc Vibratio

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและประยุกต์หลักการวิเคราะห์เชิงโหมดการสั่น (Modal analysis) ในการใช้ข้อมูลผลการทดสอบเชิงโหมดการสั่นของชิ้นส่วนย่อยของระบบเบรกที่นำมาสร้างแบบจำลองเชิงโหมดและคัปปลิงพลศาสตร์ชิ้นส่วนเข้าด้วยกันเพื่อทำนายพลศาสตร์ชุดประกอบระบบเบรก ดังเช่นตัวอย่างงานวิจัยของ D.J. Ewins [1] ได้นำเสนอการทำนายพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของอุปกรณ์ขารับน้ำหนักสเกิลคอปเตอร์เข้ากับลำตัว (Airframe) โดยใช้เทคนิคการคัปปลิงพลศาสตร์ของโครงสร้างย่อย (Sub-Structure Dynamic Coupling) โดยผลการทดลองสามารถทำนายพฤติกรรมทางพลศาสตร์ได้อย่างถูกต้องในช่วงความถี่ที่สนใจ ต่อมา Peter Avitabile [2] เสนอการทำนายการดัดแปลงโครงสร้าง งานวิจัย วรเทพ กุศลมานเกียรติ [3] อธิบายเกี่ยวกับการรวมโหมดแข็งเกร็ง (Rigid Body Mode) รวมถึงวิธีการหาตัวแปรของโหมดดังกล่าวจากการทดสอบโครงสร้างย่อยแบบแขวนห้อยอิสระ (Free Support) โดยเทคนิคนี้ได้กลายมาเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการออกแบบโครงสร้างเช่นเดียวกับ Anto'nio Panlo Vale Urgueira [4] ซึ่งนอกจากวิธีดังกล่าว ยังได้เสนอวิธีโมดคัปปลิง (Modal Coupling) และความสำคัญของโหมดแข็งเกร็ง ต่อมา ธนู นุญฉาย [5] เป็นวิธีในการหาตัวแปรในฟังก์ชันตอบสนองความถี่ และ N.M.M. Maia and J.M.M. Sila [6] ได้อธิบายการหาตัวแปรโหมดและวิธีการสร้างแบบจำลองเชิงโหมด ซึ่งหาได้จริงจากการทดสอบเชิงโหมด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แบบจำลองเชิงโหมด

ในการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสั่นสะเทือนของโครงสร้างทางกลในโดเมนความถี่ [1] คือ

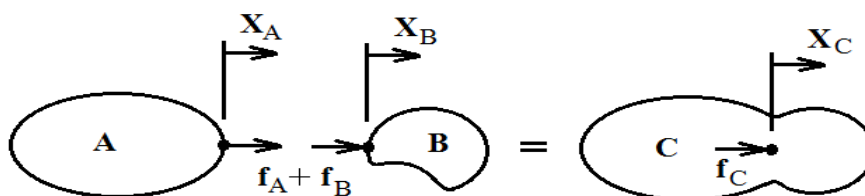
$$H_{jk}(\omega) = \sum_{r=1}^N \left(\frac{\frac{{}_r A_{jk}}{\omega_r \xi_r + i(\omega - \omega_r \sqrt{1 - \xi_r^2})} + \frac{{}_r A_{jk}^*}{\omega_r \xi_r + i(\omega - \omega_r \sqrt{1 - \xi_r^2})}}{2} \right) {}_r A_{jk} = a_r \phi_{jr} \phi_{kr} \quad (1)$$

โดย $H_{jk}(\omega)$ คือฟังก์ชันตอบสนองความถี่ (Frequency Response Functions, FRFs) ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลคุณลักษณะทางโหมด (Modal Parameters) คือ ค่าคงที่เชิงโหมด (Modal constant) ${}_r A_{jk}$ โดย r คือลำดับโหมดการสั่น และตำแหน่งจุดโครงสร้างที่ตอบสนอง k คือตำแหน่งจุดโครงสร้างที่กระตุ้น a_r คือตัวปรับค่า (scaling), ϕ_{jr} คือค่าเวกเตอร์เจาะจง (Eigenvector) หรือค่ารูปร่างการสั่น (Mode shape) ของจุดที่ j โหมดที่ r และค่าเจาะจง (Eigenvalue), คือ ω_r, ξ_r ซึ่งเป็นความถี่ธรรมชาติและอัตราส่วนการหน่วงตามลำดับ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถหาได้จากข้อมูล FRFs ที่ได้จากการทดสอบโครงสร้าง

2.2 การทำนายฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้างประกอบด้วยวิธีอิมพีแดนซ์คัปปลิง

(Impedance Coupling Technique)

การทำนายฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้างประกอบ สามารถทำได้โดยใช้ข้อมูลฟังก์ชันตอบสนองความถี่หรือแบบจำลองเชิงโหมคของระบบย่อย ซึ่งวิธีนี้รู้จักกันในนาม การประกอบโครงสร้างย่อย (Sub-Structure) โดยใช้เทคนิคอิมพีแดนซ์คัปปลิง (Impedance Coupling Technique [1]) ดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 ภาพแสดงระบบ โครงสร้างย่อย A และ B ที่ทำการเชื่อมต่อกันเป็นระบบ โครงสร้าง C

การเชื่อมต่อระหว่างตำแหน่งจุดบน โครงสร้างประกอบสามารถเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$X_C = X_A = X_B \quad (2)$$

$$f_C = f_A + f_B \quad (3)$$

ดังนั้น เมื่อพิจารณา X_i และ f_i ในโดเมนความถี่จะได้ว่า

$$\frac{1}{H_C} = \frac{1}{H_A} + \frac{1}{H_B} \quad (4)$$

$$Z_C = Z_A + Z_B \quad \text{เมื่อ} \quad Z = \frac{1}{H} \quad (5)$$

กรณีกำหนดตำแหน่งจุดที่สนใจบน โครงสร้างย่อย 2 จุดสามารถเขียนเมทริกซ์ของฟังก์ชันตอบสนองความถี่ได้

$$[H_A] = \begin{bmatrix} {}_A H_{11} & {}_A H_{12} \\ {}_A H_{21} & {}_A H_{22} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[H_B] = \begin{bmatrix} {}_B H_{11} & {}_B H_{12} \\ {}_B H_{21} & {}_B H_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

ดังนั้นได้

$$[Z_A] = [H_A]^{-1} = \begin{bmatrix} {}_A Z_{11} & {}_A Z_{12} \\ {}_A Z_{21} & {}_A Z_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$[Z_B] = [H_B]^{-1} = \begin{bmatrix} {}_B Z_{11} & {}_B Z_{12} \\ {}_B Z_{21} & {}_B Z_{22} \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$[Z_C] = [Z_A] + [Z_B] = \begin{bmatrix} {}_A Z_{11} & {}_A Z_{12} & 0 \\ {}_A Z_{21} & {}_A Z_{22} + {}_B Z_{22} & {}_A Z_{23} \\ 0 & {}_B Z_{32} & {}_A Z_{33} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$[H_C] = [Z_C]^{-1} = \begin{bmatrix} {}_C H_{11} & {}_C H_{12} & {}_C H_{13} \\ {}_C H_{21} & {}_C H_{22} & {}_C H_{23} \\ {}_C H_{31} & {}_C H_{32} & {}_C H_{33} \end{bmatrix} \quad (11)$$

ดังนั้นข้อมูลฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของระบบ โครงสร้างย่อยสามารถนำมาใช้ในการทำนายฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของระบบโครงสร้างประกอบได้

2.3 โหมดแข็งเกร็ง (Rigid Body Modes)

โหมดแข็งเกร็ง (Rigid Body Modes) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทดสอบเชิงโหมด (Modal Testing) ของโครงสร้างด้วยวิธีแขวนห้อยอิสระ ซึ่งโหมดดังกล่าวจะมีความถี่ธรรมชาติเป็น 0 Hz และมีได้มากที่สุดถึง 6 โหมดตามจำนวนองศาอิสระที่เป็นไปได้ โดยโหมดแข็งเกร็งมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการสร้างแบบจำลองโมดัลเพื่อการทำนายการดัดแปลงโครงสร้าง ซึ่งหากไม่รวมโหมดดังกล่าว ผลการทำนายโครงสร้างจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น [3]

3. การทดสอบเชิงโหมด และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับโครงสร้างประกอบ

โครงสร้างประกอบที่นำมาศึกษาคือ จานเบรกและชุดแกนล้อและก้านล้อ (Hub and Knuckle) โดยการศึกษาวิธีการอิมพีแดนซ์คัปปลิงจะดำเนินการควบคู่กับวิธีคำนวณเชิงตัวเลขไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้เพื่ออ้างอิง ซึ่งข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุของจานเบรก (Disk Brake) กำหนดให้ วัสดุเป็นเหล็กหล่อ (Cast Iron) มีความหนาแน่น $= 7100 \text{ kg/m}^3$ ค่ายังสัมมูลัส เท่ากับ $1.9 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$ เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนจานเบรกเท่ากับ 152 mm เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างจานเบรกเท่ากับ 281 mm ความหนาเฉลี่ยตลอดขอบจานด้านล่างเท่ากับ 6 mm ซึ่งจะมีจำนวนชั้นแบ่งที่ความหนาอย่างน้อย 2 ชั้นเพื่อให้การคำนวณไฟไนต์เอลิเมนต์มีความถูกต้อง

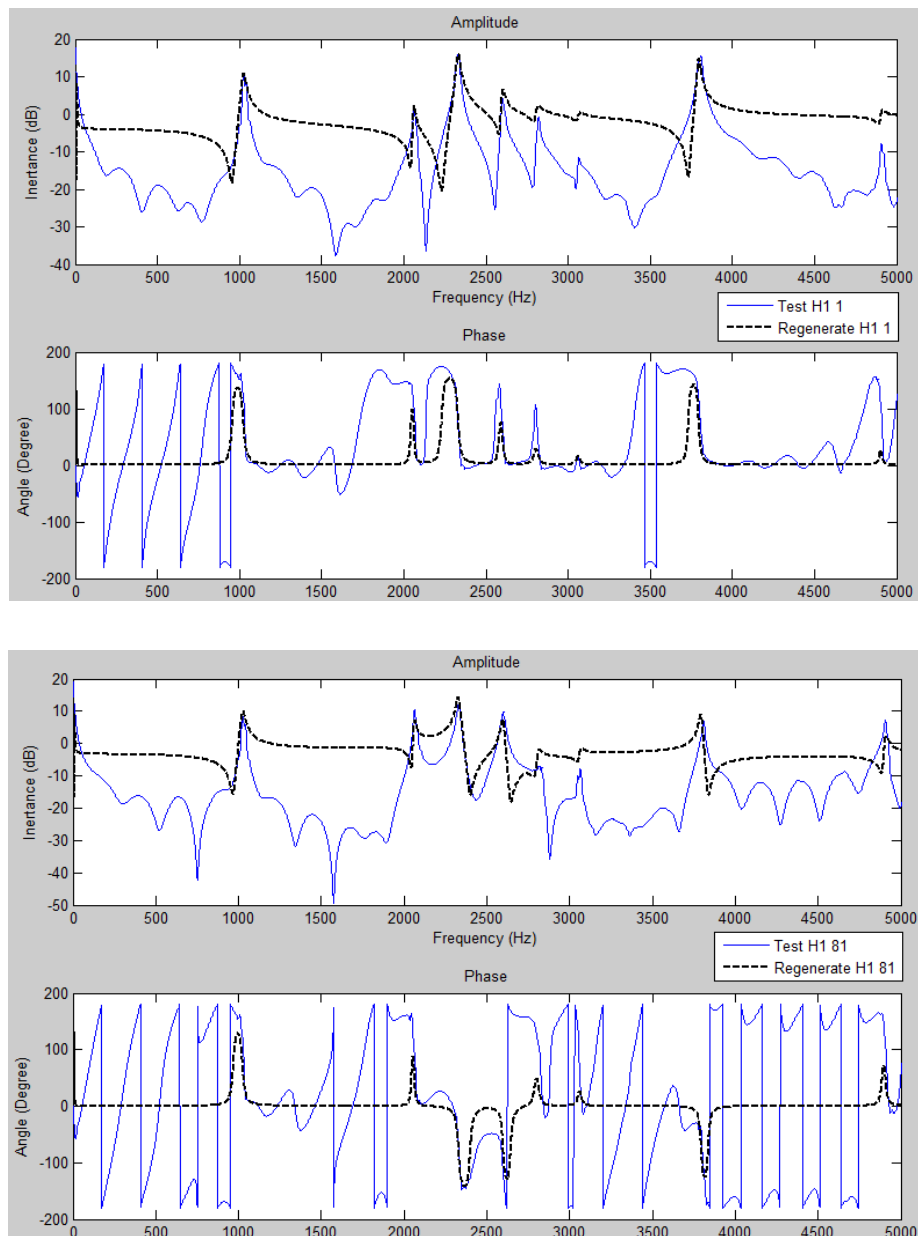
การทดสอบเชิงโหมดจะดำเนินการโดยให้เป็นแบบแขวนห้อยอิสระ (Free support) จานเบรกจะแขวนด้วยเชือกยึดหุ่ยน แบ่งจุดวัดและเกาะห่างกันโดยในแนวรัศมีจุดละ 2-3 mm และแนวเส้นรอบวงโดยแบ่งออกเป็น 28 ส่วน ดังนั้นโครงสร้างสามารถแบ่งจุดทดสอบได้ทั้งหมด 140 จุด ดังรูปที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพแสดงโครงสร้างจานเบรก (Disk Brake) ที่นำมาทดสอบ

ในการทดลองใช้วิธีการเก็บสัญญาณของโครงสร้างแบบแขวนห้อยอิสระ ด้วยเครื่องวัดสัญญาณ (Dynamic signal analyzer) ที่ใช้ค่อนดัดตัวหึ่งสัญญาณแรง (Force transducer) เป็นการกระตุ้นแบบกระแทกและวัดการตอบสนองที่เกิดขึ้นด้วย ตัวหึ่งสัญญาณความเร่ง (Accelerometer) ซึ่งจะพิจารณาเป็นตำแหน่งอ้างอิง

และทำการใช้เคลื่อนไปทดสอบยังจุดอื่นๆ ต่อไป เพื่อให้ได้ข้อมูลครบในการระบุตัวแปรเชิงโหมดทั้งหมดที่ใช้ในสมการที่ 1 ซึ่งผลของแบบจำลองเชิงโหมดที่ได้ ดังแสดงการพล็อตกราฟเปรียบเทียบในรูปที่ 3 ซึ่งผลของฟังก์ชันตอบสนองความถี่หรือ ผลตอบสนองคือความถี่และการกระตุ้นเป็นแรง (Inertance) โดยแสดงขนาดในสเกลลอการิทึม ที่สร้างขึ้น (Regenerated FRF) จากแบบจำลองดังสมการที่ 1 สอดคล้องกับความถี่และเฟสที่เกิดขึ้นจริงของชิ้นงานในโหมดที่ระบุ

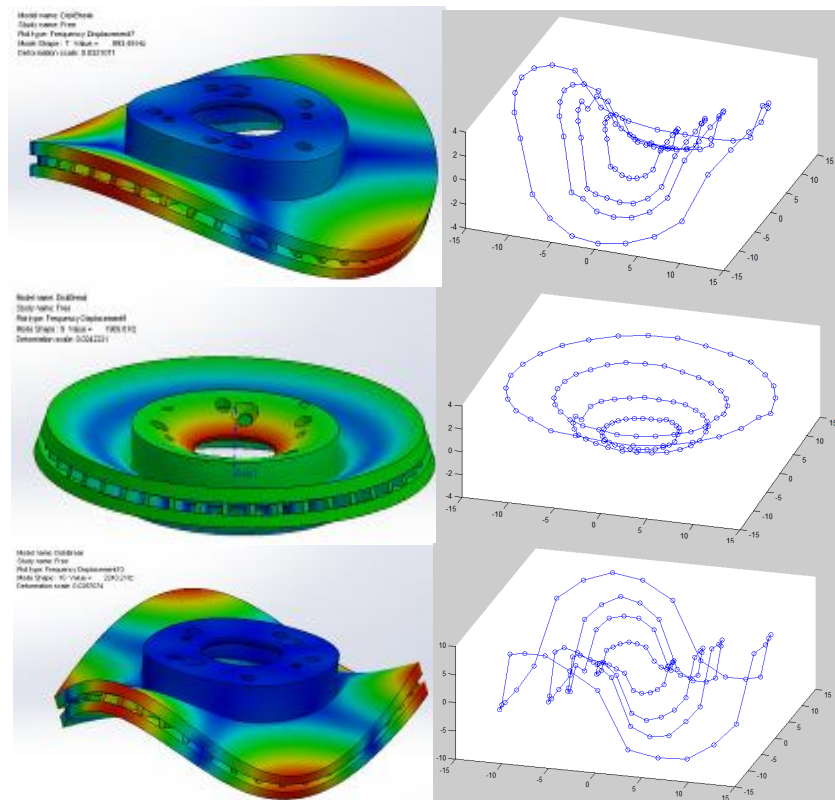


ภาพที่ 3 เปรียบเทียบฟังก์ชันตอบสนองความถี่จาก Point FRF (บน) และ Transfer FRF (ล่าง) ที่ได้จาก

การสร้างขึ้น (Regenerate,เส้นประ) กับค่าที่วัดจริง (Test,เส้นเต็ม) ของจานเบรก

จากการหาฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้าง ทำให้สามารถระบุรูปร่างของการสั่นของโครงสร้าง (Mode Shape) เพื่อเป็นการเปรียบเทียบความถูกต้องก่อนการนำฟังก์ชันตอบสนองความถี่ไปดัดแปลงโครงสร้าง โดยการเปรียบเทียบผลจากการจำลองแบบจานเบรกด้วยวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ ดังรูปที่ 4 ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ความสนใจ

เพียง 3 โหมดแรกของโครงสร้าง หรือในย่านความถี่ 5,000 Hz เนื่องจากข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพการคำนวณของอัลกอริทึมที่ใช้

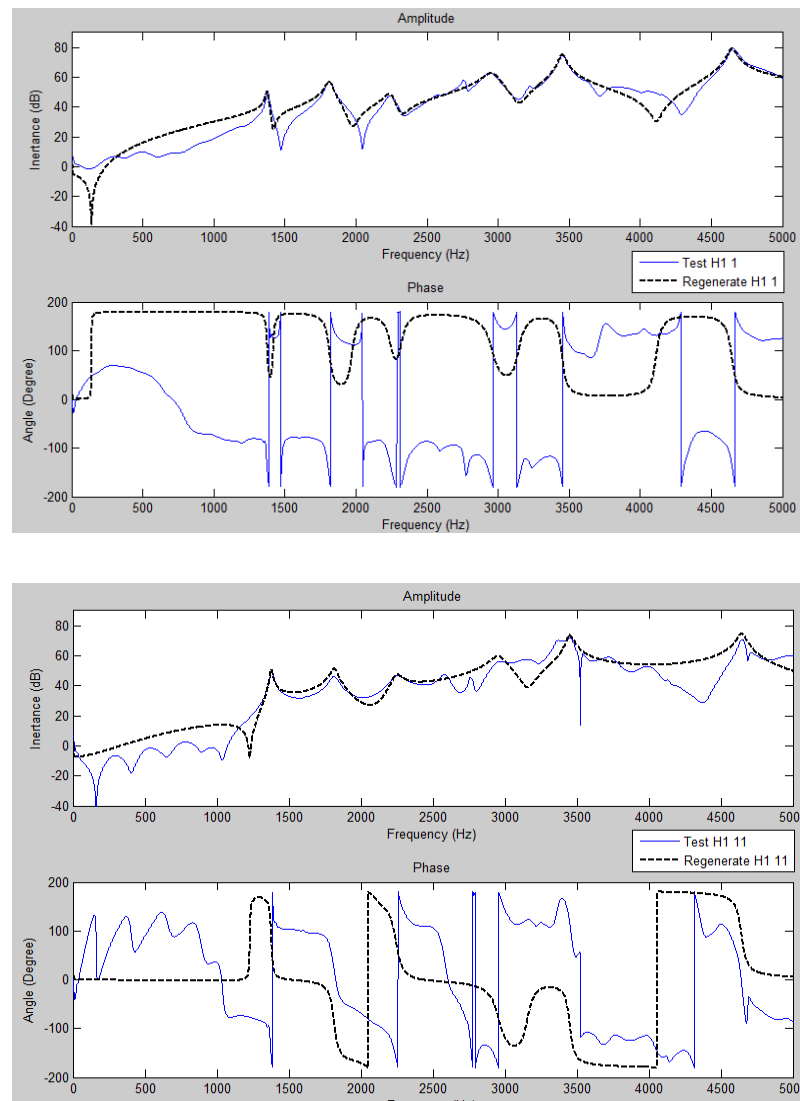


ภาพที่ 4 เปรียบเทียบรูปร่างการสั่นโหมดที่ 1 (บน) ความถี่ซ้ำ(FEM) = 993 Hz , ขว(TEST) = 1025 Hz
 รูปร่างการสั่นโหมดที่ 2 (กลาง) ความถี่ซ้ำ(FEM) = 1969 Hz , ขว(TEST) = 2062 Hz
 รูปร่างการสั่นโหมดที่ 3 (ล่าง) ความถี่ซ้ำ(FEM) = 2243 Hz , ขว(TEST) = 2332 Hz



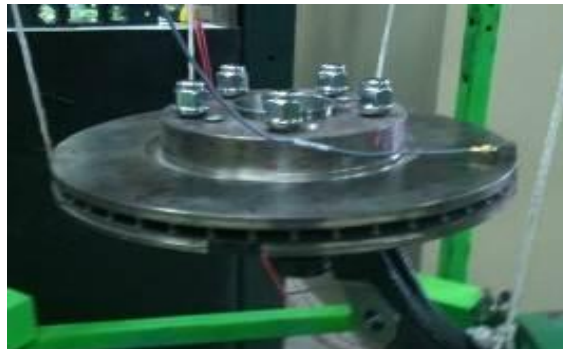
ภาพที่ 5 ภาพแสดง โครงสร้างชุดประกอบแกนล้อ (Hub) และก้านต่อ (Knuckle) ที่นำมาทดสอบด้วยวิธีอิมพีแดนซ์คัปปลิง

สร้างฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้างชุดประกอบแกนล้อและก้านต่อ ในทำนองเดียวกับ โครงสร้างงานเบรก โดยกำหนดจุดโหนดอิเลเมนต์ทั้งหมด 40 จุดบนโครงสร้างหัวต่อแกนล้อ ดังรูปที่ 6



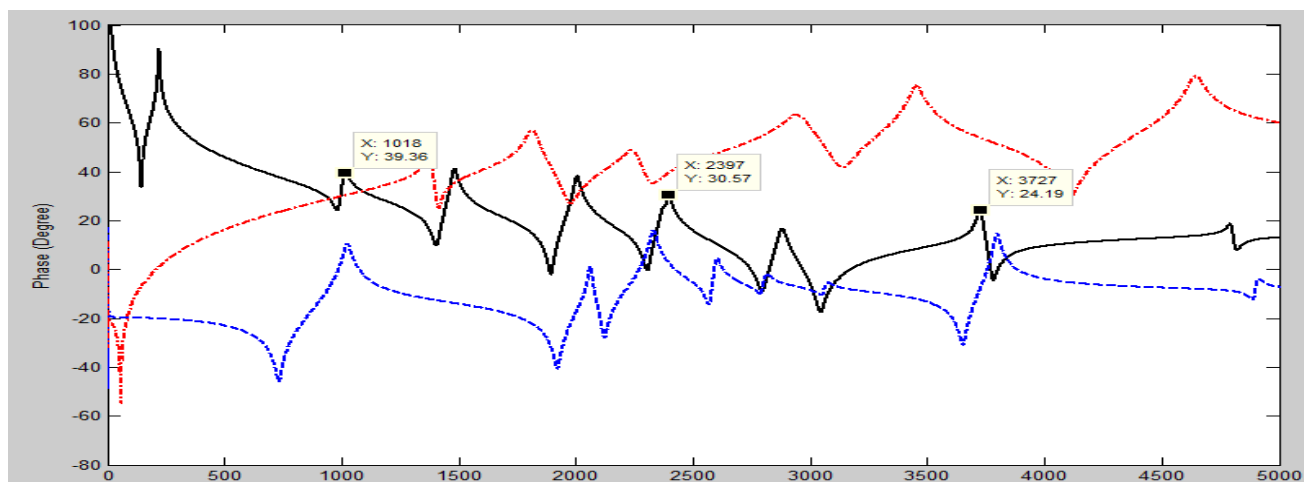
ภาพที่ 6 เปรียบเทียบฟังก์ชันตอบสนองความถี่ Point FRF (บน) และ Transfer FRF (ล่าง) ที่ได้จากการสร้างขึ้น (Regenerate, เส้นประ) กับค่าที่วัดจริง (Test, เส้นเต็ม) ของชุดประกอบแกนล้อและก้านต่อ

นำฟังก์ชันตอบสนองความถี่ (FRFs) ของโครงสร้างประกอบย่อยงานเบรกและหัวต่อแกนล้อมา คัปปลิ่งด้วยการใช้ทฤษฎีตามตำแหน่ง 5 จุดบนงานเบรกดังรูปที่ 5 โดยให้งานเบรกเป็นโครงสร้างย่อย A และหัวต่อแกนล้อเป็นโครงสร้างย่อย B ดังรูปที่ 7 ทำการเชื่อมต่อกันเป็นระบบโครงสร้าง C โดยใช้สมการที่ (2)-(11) แล้วทำการเปรียบเทียบความถี่ที่ได้จากการหาด้วยวิธีอิมพีแดนซ์คัปปลิ่งกับการทดสอบโครงสร้างประกอบ ดังกล่าว



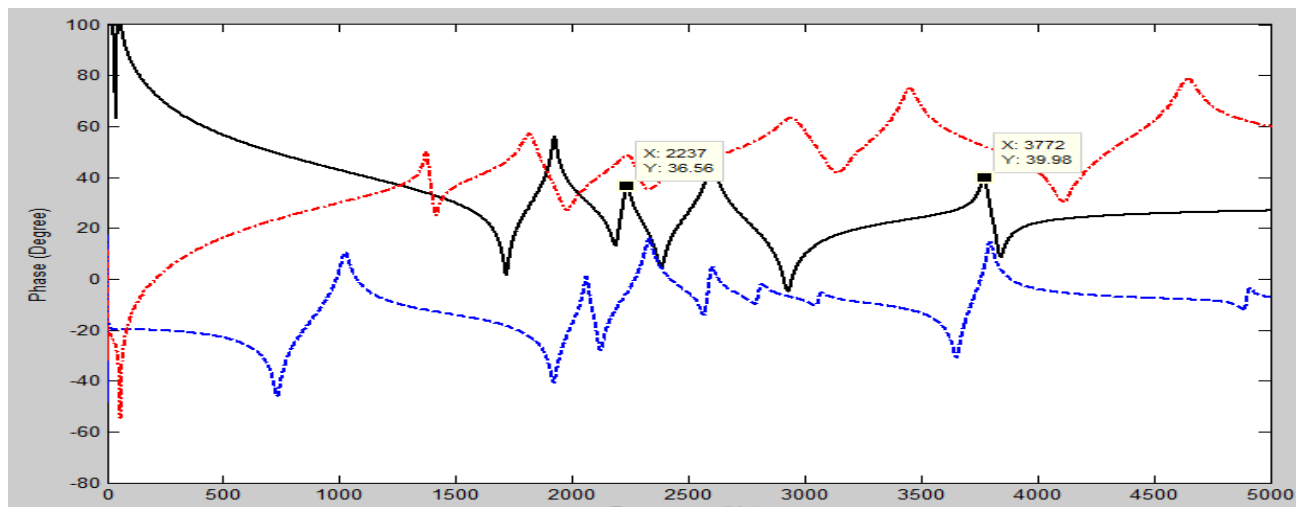
ภาพที่ 7 แสดงชิ้นของโครงสร้างประกอบจริง

เปรียบเทียบฟังก์ชันตอบสนองความถี่ (FRFs) ก่อนและหลังการค้ำปลั่งของโครงสร้างประกอบจานเบรก แกนล้อและก้านต่อ โดยทำการศึกษา 2 กรณีของวิธีการค้ำปลั่ง คือแบบ มี 1 จุด ต่อโหนด และแบบ 2 จุด ต่อโหนด ดังรูปที่ 8 กำหนดจุดค้ำปลั่ง เท่ากับ 1 จุด ต่อ 1 โหนดของทั้ง 5 โหนด ค้ำปลั่ง ดังรูปที่ 9 กำหนดจุดค้ำปลั่งเท่ากับ 2 จุด ต่อ 1 โหนดของทั้ง 5 โหนด เพื่อลดโหมดดองศาอิสระในแนวแกนหมุนขวางระนาบหน้างานเบรก ดังจะเห็นผลจากการค้ำปลั่งทั้งสองกรณีที่แตกต่างกันคือ โหมดที่ความถี่ 1056 Hz ของผลทดสอบจริงหายไป คือโครงสร้างแข็งแรงขึ้นในกรณียึดแบบ 2 จุด ต่อ 1 โหนด ดังแสดงเปรียบเทียบผลทดสอบกับการค้ำปลั่งทั้งสองกรณีในรูปที่ 10



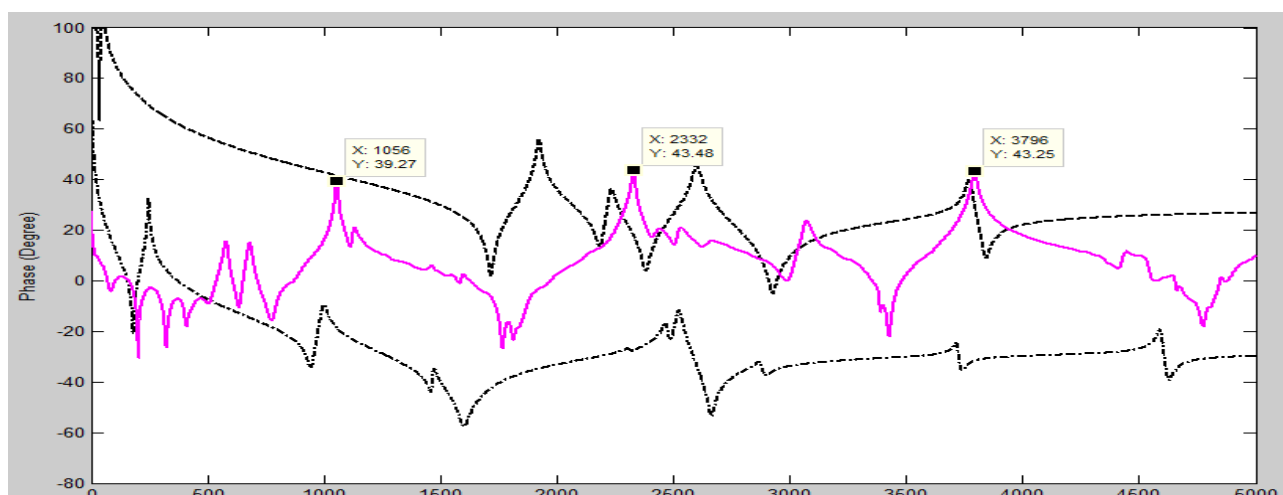
ภาพที่ 8 กราฟเปรียบเทียบการผลที่ได้จากการค้ำปลั่งของโครงสร้าง แบบ 1 จุดต่อ 1 โหนด โดย

— FRF ของ Impedance Coupling Technique - - - FRF ของจานเบรก และ
 - • - FRF ของชุดแกนล้อและก้านต่อ



ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบการผลที่ได้จากการคัปปลิงของโครงสร้าง แบบ 2 จุดต่อ 1 โหนด โดย

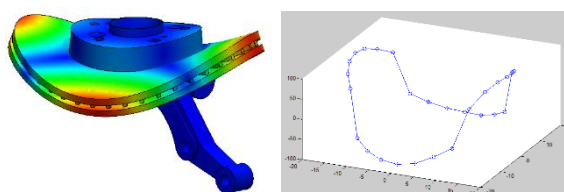
— FRF ของ Impedance Coupling Technique --- FRF ของงานเบรก และ
 -•- FRF ของชุดแกนล้อและก้านต่อ

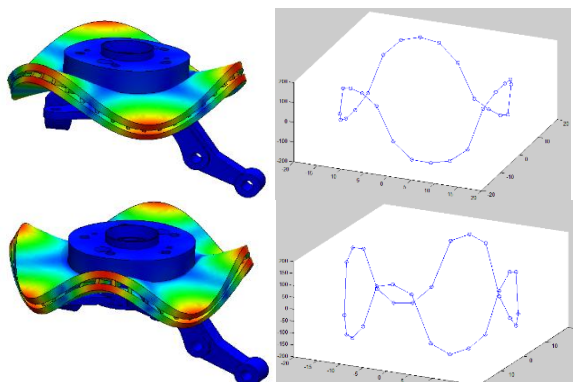


ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบการผลที่ได้จากการคัปปลิงของโครงสร้างกับค่าที่วัดจริง

— FRF ของโครงสร้างที่วัดจริง -•- FRF การคัปปลิง 2 จุด ต่อ 1 โหนด
 --- FRF การคัปปลิง 1 จุด ต่อ 1 โหนด

เปรียบเทียบรูปร่างการสั่น (Mode shape) ของโครงสร้างประกอบเพื่อยืนยันความถูกต้อง ดังรูปที่ 11 (ซ้าย) เป็นรูปร่างการสั่นจากไฟไนต์อีลิเมนต์ (ขวา) เป็นรูปร่างการสั่นของขอบงานเบรกของโครงสร้างประกอบเฉพาะการตัดตัวขอบนอกงานเบรก





รูปที่ 11 เปรียบเทียบรูปร่างการสั่นโหมดที่ 1 (บน) ความถี่ซ้าย(FEM) = 1041 Hz , ขวา(TEST) = 1056 Hz

รูปร่างการสั่นโหมดที่ 2 (กลาง) ความถี่ซ้าย(FEM) = 2310 Hz , ขวา(TEST) = 2332 Hz

รูปร่างการสั่นโหมดที่ 3 (ล่าง) ความถี่ซ้าย(FEM) = 3762 Hz , ขวา(TEST) = 3796 Hz

4. สรุปผลการศึกษา

ผลวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าจากฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้างย่อยสามารถนำมาใช้ทำนายฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้างประกอบด้วยวิธีอิมพีแดนซ์คัปปลิงได้ ซึ่งมีความสอดคล้องกับฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของชิ้นงานจริงแต่ต้องคำนึงถึงสภาวะขอบเขตที่แท้จริงของโครงสร้างประกอบ และการคำนึงถึงโหมดแข็งเกร็งของโครงสร้างประกอบย่อยก่อนนำมาคัปปลิงด้วยเทคนิคอิมพีแดนซ์คัปปลิง มีความสำคัญเช่นเดียวกับเทคนิค SDM [3] เนื่องจากฟังก์ชันตอบสนองความถี่ของโครงสร้างประกอบได้มาโดยการแวนพอยฮิสระ

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] D.J. Ewins. 2000. **Modal Testing: Theory, Practice and Application**. 2nd ed. Hertfordshire : Research Studies Press Ltd., c2000.
- [2] Peter Avitable. January 2003. Twenty Years of Structural Dynamics Modification. **Journal Sounds and Vibration** : 14-25.
- [3] วรเทพ ภูส์มานเกียรติ. 2549. ผลกระทบและการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโหมดแข็งเกร็งในการสร้างแบบจำลองโมดัลสำหรับการดัดแปลงพลศาสตร์โครงสร้าง. ใน การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20, นครราชสีมา.
- [4] ธนุ จุลฉาย. 2544. การสั่นสะเทือนเชิงกล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.
- [5] N.M.M. Maia and J.M.M. Sila. 2001. Modal analysis identification techniques. **The Royal Society** : 29-40.
- [6] Antonio Paulo Vale Urgueira. October 1989. **Dynamic Analysis of Coupling Structures using Experimental Data**. Ph.D.Thesis. M.E. Imperial College of Science. Technology and Medicine London.

ความสัมพันธ์ของสภาวะการสังเคราะห์กับการดูดซับสีของวัสดุพอร์ซิลิกา

โดยใช้การออกแบบการทดลอง CCD

**CORRELATION OF THE SYNTHESIS CONDITIONS AND DYE
ADSORPTION OF POROUS SILICA USING CENTRAL COMPOSITE
DESIGN**

อิสริย์ อ่องอ่อน

นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: g5614500367@ku.ac.th

นันทิยา หาญสุภลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengnyh@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) หาความสัมพันธ์ของสภาวะการสังเคราะห์กับการดูดซับสีของวัสดุพอร์ซิลิกา ซึ่งสังเคราะห์จากโซเดียมซิลิเกต (แหล่งซิลิกา) และน้ำยางธรรมชาติ (สารแม่แบบ) ปัจจัยที่สนใจได้แก่ ค่าพีเอช อุณหภูมิแคลไซน์ ปริมาณยาง และความเข้มข้นของเกลือ จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยในการสังเคราะห์วัสดุพอร์ซิลิกาไม่มีผลต่อการดูดซับเมทิลีนบลู โดยอาจมีสาเหตุจากปริมาณประจุลบบนพื้นผิวของตัวอย่างที่สังเคราะห์ที่สภาวะต่างๆ ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจำเป็นต้องยืนยันด้วยการทดลองต่อไป

คำสำคัญ: วัสดุพอร์ซิลิกา สภาวะในการสังเคราะห์ การดูดซับสี การออกแบบส่วนประสมกลาง

ABSTRACT

This work used the central composite design (CCD) for analyzing the correlation of the synthesis conditions and dye adsorption of porous silica. The synthesis used sodium silicate as a silica source and natural rubber as a template. The interested factors were solution pH, calcination temperature, amount of natural rubber and the salt concentration. The statistical analysis showed that the factors do not have an impact on methylene blue adsorption which may cause by the amount of negative surface charge. Therefore, the negative surface charge analysis of the synthesized porous silica from various synthesis conditions are further required.

KEYWORDS: Porous silica; Synthesis condition; Dye adsorption; Central composite design

1. บทนำ

เมทิลีนบลู นิยมใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมฟอกสิ่งสิ่งทอ กระดาษ และหนัง นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารย้อมสีในการศึกษาแบคทีเรีย (Brown, 2008) การได้รับสารเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก ทำให้เกิดการระคายเคืองในระบบหายใจ และระบบทางเดินอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน อาจทำให้เกิดความผิดปกติของเม็ดเลือด และอาการอื่นๆรุนแรงถึงขั้นเสียชีวิตได้ (Labchem, 2006) เมทิลีนบลูเป็นสีย้อมชนิดประจุบวก จึงกำจัดออกได้โดยการดูดซับด้วยวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นประจุลบ เช่น ซิลิกา และถ่านกัมมันต์ เป็นต้น การดูดซับเมทิลีนบลูบนวัสดุดูดซับเหล่านี้ พบว่ามีทั้งที่เป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) และแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) (Huang et al., 2011; Gómez et al., 2014; Lin et al., 2013) โดยการดูดซับอาจได้รับอิทธิพลจากพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ของวัสดุดูดซับ ซึ่งสำหรับซิลิกา พบว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิวจำเพาะขึ้นกับความเป็นกรด (Witoon et al., 2008) อุณหภูมิแคลไซน์ (Sierra and Guth, 1999) ปริมาณสารแม่แบบ (Witoon et al., 2011) และปริมาณเกลือ (Sierra and Guth, 1999) การประเมินประสิทธิภาพการดูดซับของวัสดุที่สังเคราะห์ เมื่อต้องการเปรียบเทียบระหว่างตัวดูดซับต่างชนิดกัน มักประเมินประสิทธิภาพฯ ในแง่ของค่าความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (Q_{max}) แต่เมื่อต้องการเปรียบเทียบสภาวะการดูดซับต่างกัน แต่ใช้ตัวดูดซับชนิดเดียวกัน นิยมประเมินในรูปของค่าความสามารถในการดูดซับที่จุดสมดุล (Q_e) (Kumar et al., 2014)

เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design, CCD) เป็นที่นิยมใช้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยมากกว่าหนึ่งปัจจัยพร้อมกัน ซึ่งได้รวมถึงอิทธิพลร่วมที่เกิดจากปัจจัยเหล่านั้น เทคนิคนี้ได้มีการใช้ในการศึกษาการสังเคราะห์ซิลิกา (Shekarriz et al., 2014; Sresungsuan and Hansupalak, 2013) และการดูดซับสีย้อม (Arulkumar, 2011; De Sales et al., 2013) ความสำคัญของวิธี CCD คือสามารถหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างหลายปัจจัยกับผลตอบสนองได้ แสดงให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวจำเพาะและการดูดซับสีย้อมของวัสดุดูดซับเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในการสังเคราะห์ สมการความสัมพันธ์จากวิธี CCD จะเป็นประโยชน์ต่อการหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสังเคราะห์ตัวดูดซับที่มีความสามารถในการดูดซับสูง เพื่อประหยัดต้นทุนในการกำจัดสีย้อม

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาความสัมพันธ์ของสภาวะในการสังเคราะห์ (ความเป็นกรด อุณหภูมิแคลไซน์ ปริมาณสารแม่แบบ และความเข้มข้นของเกลือ) กับพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุดูดซับและการดูดซับสีย้อม (ค่าความสามารถในการดูดซับที่จุดสมดุล, Q_e) งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์วัสดุดูดซับซิลิกาหรือในที่นี้เรียกว่า วัสดุพูนซิลิกา (Porous silica, PS) ที่ผลิตจากแหล่งซิลิกาการค้า คือโซเดียมซิลิเกต โดยใช้สารแม่แบบเป็นน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยให้มูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 สารเคมี

น้ำยางธรรมชาติ (ปริมาณเนื้อยางแห้ง = 24%) โซเดียมซิลิเกต (29.12%wt. SiO_2 , PQ corporation) กรดไฮโดรคลอริก (37.5%wt.purity, J.T.Baker) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (99%wt.purity, MERCK) โซเดียมคลอไรด์ (99.9%wt.purity, UNIVAR) และเมทิลีนบลู ($\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}^+\text{Cl}^-$: 98.5%wt.purity, UNILAB) โดยน้ำที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำปราศจากประจุ (De-ionized water)

2.2 การเตรียม PS

ผสมน้ำยางธรรมชาติกับน้ำปราศจากประจุโดยใช้หัวกวนผสม (Overhead mixer) จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซัลเฟตลงไป (กำหนดให้สัดส่วนโดยน้ำหนัก ซิลิกา:น้ำ=1:60 ตลอดจนการทดลอง) ทำการปรับพีเอชของผสมให้มีค่าตามต้องการด้วยกรดไฮโดรคลอริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เติมเกลือ (โซเดียมคลอไรด์) และผสมจนสารเข้ากัน นำของผสมที่ได้ใส่ในปฏิกรณ์ทนแรงดันสูง ที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างของแข็งที่ได้จากการสังเคราะห์จนเป็นกลางและอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการเคลือบด้วยอุณหภูมิสูง นาน 6 ชั่วโมง เพื่อกำจัดยางออก ได้ PS แล้วนำมาวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวจำเพาะ ไอโซเทอมการดูดซับ การกระจายตัวของขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนด้วย N_2 adsorption desorption (Quantachrome Corporation, Autosorb1, USA) โดยมีการให้ความร้อนเพื่อไล่น้ำออกจาก PS ก่อนทำการวิเคราะห์ด้วยก๊าซไนโตรเจนในช่วงความดันสัมพัทธ์เท่ากับ 0 -1.0 ในการทดลองนี้สภาวะสังเคราะห์ที่เปลี่ยนแปลงคือ ค่าพีเอช อุณหภูมิเคลือบ สัดส่วนโดยน้ำหนักน้ำยางต่อซิลิกา และความเข้มข้นของเกลือ แสดงในตารางที่ 1

2.3 การดูดซับสีย้อม

ชั่ง PS 50 มิลลิกรัม (ปริมาณตัวดูดซับเท่ากับ 5 กรัม/ลิตรของสารละลาย) ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร (สารละลายมีความเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัม/ลิตร) นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 160 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำของผสมไปเหวี่ยงเพื่อแยกซิลิกาออก ได้สารละลายที่ผ่านการดูดซับแล้วไปวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับสีย้อมของซิลิกาด้วย UV-Vis spectrophotometer (UV-vis; GENESYS, 10S, USA) โดยคำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่นแสง 664 นาโนเมตร ค่าความสามารถในการดูดซับที่จุดสมดุล (Q_e , มิลลิกรัม/กรัม) หาจากสมการที่ 1

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

โดยที่ C_0 และ C_e คือค่าความเข้มข้นเริ่มต้น และความเข้มข้นที่จุดสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร) ตามลำดับ m คือ น้ำหนักของ PS (กรัม) และ V คือ ปริมาตรสารละลายสีย้อม (ลิตร) ส่วนค่า Q_{max} หาได้จากแบบจำลองแลงเมียร์ ร่วมกับค่า Q_e ที่วัดที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมหลายค่า (Baccar et al., 2013) โดยกำหนดให้ระยะเวลาการดูดซับเท่ากันคือ 6 ชั่วโมง

2.4 การออกแบบการทดลองด้วยวิธี CCD

ปัจจัยในการสังเคราะห์ที่นำมาใช้เป็นตัวแปรต้น ได้แก่ ค่าพีเอช (P) อุณหภูมิเคลือบ (T) สัดส่วนโดยน้ำหนักน้ำยางต่อซิลิกา (R) และความเข้มข้นของเกลือ (N) โดยผลตอบสนองคือ พื้นที่ผิวจำเพาะของ PS (B) และความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Q_e) สภาวะในแต่ละการทดลองถูกกำหนดโดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบสนอง และเลือกการออกแบบการทดลองด้วยวิธี CCD มีจำนวนการทดลองเท่ากับ จำนวนจุดที่แฟกทอเรียล (2^k) + จำนวนจุดที่แกน ($2k$) + จำนวนจุดศูนย์กลาง (n) ซึ่ง k คือจำนวนปัจจัยและกำหนดจำนวนการทดลองที่จุดศูนย์กลางเท่ากับ 3 จึงได้จำนวนการทดลองทั้งหมด $2^4 + (2 \times 4) + 3 = 27$ การทดลองที่จุดศูนย์กลางมีค่า coded value เท่ากับ 0 ใช้ระยะห่างแกน $\alpha = \sqrt[4]{2^k}$ จึงได้ $\alpha = \sqrt[4]{2^4} = 2$ ให้แต่ละตัวแปรมี 5 ระดับ จึงมี coded value ของระดับตัวแปรเป็น -2 -1 0 +1 +2 ค่าจริงของตัวแปรจากการออกแบบการทดลอง CCD แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยและค่าของปัจจัยที่ระดับต่างๆ

ปัจจัยในการทดลอง	ค่าของปัจจัย				
	-2	-1	0	+1	+2
ค่าพีเอช (P)	4	5.25	6.5	7.75	9
อุณหภูมิเคลวิน (T, °C)	550	612.5	675	737.5	800
สัดส่วนโดยน้ำหนักน้ำยางต่อซิลิกา (R)	0.5	0.625	0.75	0.875	1.0
ความเข้มข้นของเกลือ (N, Molar)	0	0.125	0.25	0.375	0.5

โปรแกรม Minitab® 16.2 ถูกนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง สภาวะของแต่ละการทดลองทั้ง 27 การทดลองดังที่ออกแบบด้วยวิธี CCD แสดงในตารางที่ 2 หลังจากได้ค่าผลตอบแทนจากการทดลองจริง โปรแกรมจะนำค่าผลตอบแทน มาวิเคราะห์เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าผลตอบแทนและตัวแปรต้น ดังสมการที่ 2

$$Y = b_0 + b_1P + b_2T + b_3R + b_4N + b_{11}P^2 + b_{22}T^2 + b_{33}R^2 + b_{44}N^2 + b_{12}PT + b_{13}PR + b_{14}PN + b_{23}TR + b_{24}TN + b_{34}RN \quad (2)$$

โดย Y คือ ค่าผลตอบแทน b_0 คือ ค่าคงที่ระยะตัดแกน y b_i คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยเชิงเส้น b_{ii} คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยควอดราติก และ b_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ถดถอยอิทธิพลร่วม

3. ผลการทดลอง

3.1 ความสามารถสูงสุดในการดูดซับเมทิลีนบลู (Q_{max})

ในระหว่างการศึกษาเพื่อหาช่วงของแต่ละปัจจัย สำหรับใช้ในการออกแบบการทดลองด้วยวิธี CCD ผู้วิจัยได้ทดลองสังเคราะห์ PS โดยให้ค่าของแต่ละปัจจัยมีค่าต่ำสุดที่จะเกิดเป็นวัสดุพูนได้ (ระดับเป็น -2 ตามตารางที่ 1) และหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะและค่า Q_{max} ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทั้งสองกับงานวิจัยอื่น (ตารางที่ 3) พบว่า PS ที่สังเคราะห์นี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะและค่า Q_{max} สูง บ่งบอกศักยภาพของผลิตภัณฑ์จากงานวิจัยปัจจุบันในการใช้เป็นวัสดุดูดซับสีย้อม

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลองด้วยวิธี CCD

การทดลอง	ตัวแปรต้น				ผลตอบสนอง	
	P	T	R	N	B	Q _c
1	5.25	737.5	0.625	0.125	446.6	18.09
2	6.5	550	0.75	0.25	367.1	17.67
3	9	675	0.75	0.25	374.5	20.50
4	7.75	612.5	0.875	0.125	385.9	17.60
5	7.75	737.5	0.625	0.125	327.3	18.37
6	7.75	612.5	0.625	0.375	377.1	17.72
7	5.25	612.5	0.625	0.125	491.6	18.17
8	7.75	737.5	0.875	0.125	327.6	18.46
9	6.5	675	0.75	0.25	365.5	20.52
10	6.5	675	0.75	0.5	351.9	20.53
11	5.25	612.5	0.625	0.375	437.2	17.70
12	7.75	737.5	0.625	0.375	313.4	18.40
13	6.5	675	1.0	0.25	423.7	20.56
14	4	675	0.75	0.25	602.3	17.83
15	6.5	800	0.75	0.25	362.5	20.53
16	7.75	737.5	0.875	0.375	549.6	20.60
17	5.25	737.5	0.625	0.375	432.8	18.14
18	5.25	737.5	0.875	0.375	429.7	20.20
19	5.25	612.5	0.875	0.125	472.8	17.48
20	7.75	612.5	0.875	0.375	404.1	17.76
21	6.5	675	0.75	0	504.9	20.72
22	6.5	675	0.5	0.25	502.9	20.46
23	5.25	612.5	0.875	0.375	450.0	17.62
24	5.25	737.5	0.875	0.125	441.5	18.22
25	6.5	675	0.75	0.25	386.9	20.56
26	6.5	675	0.75	0.25	375.4	20.64
27	7.75	612.5	0.625	0.125	367.1	18.20

ตารางที่ 3 ความสามารถสูงสุดในการดูดซับเมทิลีนบลูของวัสดุพูนซิลิกา

วัสดุพูนซิลิกา	$Q_{\max}$ (mg/g)	พื้นที่ผิวจำเพาะ (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (cm ³ /g)	ขนาดรูพรุน (nm)	อ้างอิง
OMS-COOH	113	757	-	2.55	Lam et al. (2004)
EX-Q-MCM	96.9	619	1.09	7.02	Hong et al. (2014)
OMS-NH ₂	90	774	-	2.57	Lam et al. (2004)
PS	71.43	799	1.11	4.90	Current work
Al-MCM 41	66.5	940	-	2.44	Eftekhari et al. (2010)
MCM-41	54	1150	0.38	3.01	Lam et al. (2004)
SBA-15	51.02	659	0.83	5.27	Huang et al. (2011)

3.2 ผลของปัจจัยในการสังเคราะห์ต่อพื้นที่ผิวจำเพาะและค่า Q_e

สำหรับพื้นที่ผิวจำเพาะ ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีสถิติ (ตารางที่ 4) พบว่า พจน์ของสมการเชิงเส้นมี $p\text{-value} < 0.05$ (ตารางที่ 4) โดยมีเพียงพจน์ของค่า P ที่มี $p\text{-value} < 0.05$ แสดงว่า ค่าพีเอชมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับพื้นที่ผิวจำเพาะ (B) จากการออกแบบวิธีการทดลองด้วยวิธี CCD ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและพื้นที่ผิวจำเพาะ ดังแสดงในสมการที่ 3

$$B = 3669.81 - 407.86P - 0.0100T - 3801.43R - 3333.66N + 15.83P^2 + 1181.00R^2 + 662.60N^2 + 0.0700PT + 118.60PR + 135.64PN + 1.5100TR + 1.8500TN + 1110.80RN \quad (3)$$

โดยค่า Adj-R^2 เท่ากับ 37.71% หมายความว่าสมการสอดคล้องกับข้อมูลในการทดลองครั้งนี้ 37.71%

ในขณะที่สำหรับค่า Q_e ไม่มีพจน์ของสมการใดเลยที่มี $p\text{-value} < 0.05$ (ตารางที่ 4) แสดงว่าในการทดลองครั้งนี้ ตัวแปรต้นทุกตัวซึ่งรวมถึงค่าพีเอชไม่มีความสัมพันธ์กับค่า Q_e โดยสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและค่า Q_e ดังแสดงในสมการที่ 4 มีค่า Adj-R^2 เท่ากับ 22.77% หมายความว่าสมการสอดคล้องกับข้อมูลในการทดลองครั้งนี้เพียง 22.77% อีกทั้งยังมีค่า Pred-R^2 เท่ากับ 0 แสดงว่าสมการนี้ไม่สามารถใช้ทำนายผลการทดลองในครั้งต่อไปได้

$$Q_e = -51.0701 + 4.7346P + 0.1770T - 9.9633R - 33.5167N - 0.3811P^2 - 0.0002T^2 - 17.5933R^2 - 15.7533N^2 + 0.0007PT + 0.1240PR + 0.0600PN + 0.0465TR + 0.0388TN + 21.1600RN \quad (4)$$

จากผลที่ได้กล่าวมานี้ สามารถกล่าวได้ว่า ปัจจัยในการสังเคราะห์ PS หรือการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ผิวจำเพาะนั้น ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับสีข้อมที่จุดสมดุล (Q_e)

ตารางที่ 4 ค่า P-value ของพจน์ต่างๆในสมการที่ 3 (B) และสมการที่ 4 (Q_c)

พจน์ของสมการ	P-value	
	B	Q _c
ค่าคงที่	0.119	0.283
เชิงเส้น	0.036	0.190
P	0.034	0.208
T	0.998	0.084
R	0.053	0.792
N	0.051	0.315
ควอดรติก	0.179	0.114
อิทธิพลรวม	0.336	0.671

Wang et al. (2005) และ Matsumoto et al. (2004) ได้พบว่า ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่า Q_c คือ ประจุบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับ ในกรณีที่วัสดุดูดซับจัดเป็นของแข็งที่มีสมบัติแอมโฟเทอริก (Amphoteric solid) กล่าวคือ พื้นผิวของวัสดุดังกล่าวสามารถมีประจุบวกหรือลบได้ ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของสารละลาย และสารจะมีประจุลัพท์เป็นศูนย์ ที่พีเอชหนึ่งๆ ซึ่งนิยมเรียกว่า PZC หรือ Point of zero charge โดย Wang et al. (2005) ได้รายงานว่าการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer adsorption) และเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) เมื่อประจุบนพื้นผิวของวัสดุดูดซับตรงข้ามและเหมือนกันกับประจุของเมทิลีนบลู (ซึ่งเป็นบวกเสมอ) ตามลำดับ โดยเมื่อการดูดซับเมทิลีนบลูเป็นแบบหลายชั้น ค่า Q_c จะไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ ซึ่งตรงข้ามกับการดูดซับแบบชั้นเดียว นอกจากนี้นักวิจัยอื่นๆ ได้รายงานว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณหมู่ไฮดรอกซิล (Si-OH) บนพื้นผิววัสดุส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Q_c ของการดูดซับเมทิลีนบลู (Khraisheh et al., 2005) รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลไม่ได้สัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Zhuravlev, 2000) อย่างไรก็ตามวัสดุพูนซิลิกาจัดว่ามีสมบัติแอมโฟเทอริก โดยมีค่า PZC ประมาณ 2-3 และที่พีเอชสูงกว่า PZC หมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวจะแตกตัวเป็นหมู่ประจุลบ (Revil et al., 1999)

เมื่อพิจารณางานปัจจุบัน ค่าพีเอชของระบบขณะเกิดการดูดซับเมทิลีนบลูมีค่าอยู่ประมาณ 5.5 ± 0.2 ซึ่งถือว่าสูงกว่าค่า PZC ของวัสดุพูนซิลิกา ดังนั้นการที่ค่า Q_c ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการที่ผิวจำเพาะจึงอาจมีสาเหตุมาจากการทดลองนี้การดูดซับเมทิลีนบลูเป็นการดูดซับแบบหลายชั้นหรือการดูดซับได้รับอิทธิพลจากปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลของตัวอย่างที่ไม่ได้แตกต่างกันนักเมื่อสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่กำหนด

4. สรุปผลการวิจัย

ปัจจัยในการสังเคราะห์ที่มีผลต่อพื้นที่ผิวจำเพาะของวัสดุพูนซิลิกานั้นไม่มีผลต่อค่า Q_c ของการดูดซับเมทิลีนบลู โดยคาดว่าสาเหตุจากวัสดุพูนซิลิกามีสมบัติแอมโฟเทอริก ทำให้การดูดซับที่ค่าพีเอชมากกว่าค่า PZC เป็นแบบหลายชั้น และอาจเป็นไปได้ว่าสภาวะการสังเคราะห์ต่างๆ ไม่ได้ทำให้ปริมาณประจุลบบนพื้นผิวต่างกันมาก จึงทำให้ค่า Q_c ในการดูดซับเมทิลีนบลูของแต่ละตัวอย่างไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม

จำเป็นต้องมีการขึ้นชั้นผลการทดลองดังกล่าวโดยนำวัสดุพูนซิลิกาที่ได้จากสภาวะการสังเคราะห์ต่างๆ ไปวิเคราะห์ปริมาณประจุลบบนพื้นผิวต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- Arulkumar, M., P. Sathishkumar and T. Palvannan. 2011. Optimization of Orange G dye adsorption by activated carbon of *Thespesia populnea* pods using response surface methodology. **Journal of Hazardous Materials**. 186: 827–834.
- Baccar, R., P. Blázquez, J. Bouzid, M. Feki, H. Attiya and M. Sarrà. 2013. Modeling of adsorption isotherms and kinetics of a tannery dye onto an activated carbon prepared from an agricultural by-product. **Fuel Processing Technology**. 106: 408–415.
- Brown, J.A. (2008) **Haz-Map: Information on hazardous chemicals and occupational diseases**. Retrieved October 21, 2014, from hazmap.nlm.nih.gov
- De Sales, P.F., Z.M. Magriotis, M.A.L.S. Rossi, R.F. Resende and C.A. Nunes. 2013. Optimization by response surface methodology of the adsorption of Coomassie Blue dye on natural and acid-treated clays. **Journal of Environmental Management**. 130: 417 – 428.
- Eftekhari, S., A. Habibi-Yangjeh and Sh. Sohrabnezhad. 2010. Application of AIMCM-41 for competitive Adsorption of methylene blue and rhodamine B: Thermodynamic and kinetic studies. **Journal of Hazardous Materials**. 178: 349–355.
- Gómez, J. M., J. Galán, A. Rodríguez and G. M. Walker. 2014. Dye adsorption onto mesoporous materials: pH influence, kinetics and equilibrium in buffered and saline media. **Journal of Environmental Management**. 146: 355–361.
- Huang, C.-H., K.-P. Chang, H.-D. Ou, Y.-C. Chiang and C.-F. Wang. 2011. Adsorption of cationic dyes onto mesoporous silica. **Microporous and Mesoporous Materials**. 141: 102–109.
- Hong, J.M., B. Lin, J.-S. Jiang, B.-Y. Chen and C.-T. Chang. 2014. Synthesis of pore-expanded mesoporous materials using waste quartz sand and the adsorption effects of methylene blue. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. 20: 3667–3671.
- Khraisheh, M.A.M., M.A. Al-Ghouti, S.J. Allen and M.N. Ahmad. 2005. Effect of OH and silanol groups in the removal of dyes from aqueous solution using diatomite. **Water Research**. 39: 922–932.
- Kumar, P. S., M. Palaniyappan, M. Priyadharshini, A.M. Vignesh, A. Thanjiappan, P. Sebastina Anne Fernando, R. Tanvir Ahmed and R. Srinath. 2014. Adsorption of basic dye onto raw and surface-modified agricultural waste. **Environmental Progress & Sustainable Energy**. 33 (1): 87–98.
- Labchem, Inc. (2006, August 07). **Methylene blue reagent** [Material Safety Data Sheet]. Retrieved from www.labchem.com/tools/msds/msds/75460.pdf

- Lam, K.F., K.Y. Ho, K.L. Yeung and G. McKay. 2004. Selective adsorbents from chemically modified ordered mesoporous silica. **Studies in Surface Science and Catalysis**. 154: 2981–2986.
- Lin, L., S.-R. Zhai, Z.-Y. Xiao, Y. Song, Q.-D. An and X.-W. Song. 2013. Dye adsorption of mesoporous activated carbons produced from NaOH-pretreated rice husks. **Bioresource Technology**. 136: 437–443.
- Matsumoto, A., H. Misran and K. Tsutsumi. 2004. Adsorption characteristics of organosilica based mesoporous materials. **Langmuir**. 20: 7139–7145.
- Revil, A., P.A. Pezard and P.W.J. Glover. 1999. Streaming potential in porous media 1. Theory of the zeta potential. **Journal of Geophysical Research**. 104 (B9): 20,021–20,031.
- Shekarri, M., R. Khadivi, S. Taghipoor and M. Eslamian. 2014. Systematic synthesis of high surface area silica nanoparticles in the sol-gel condition by using the Central Composite Design (CCD) method. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**. 92: 828–834.
- Sierra, L. and J.-L. Guth. 1999. Synthesis of mesoporous silica with tunable pore size from sodium silicate solutions and a polyethylene oxide surfactant. **Microporous and Mesoporous Materials**. 27: 243–253.
- Sresungsuan, N. and N. Hansupalak. 2013. Prediction of mechanical properties of compatibilized styrene/natural-rubber blend by using reaction conditions: central composite design vs. artificial neural networks. **Journal of Applied Polymer Science**. 127: 356–365.
- Wang, S., Z.H. Zhu, A. Coomes, F. Haghseresht and G.Q. Lu. 2005. The physical and surface chemical characteristics of activated carbons and the adsorption of methylene blue from wastewater. **Journal of Colloid and Interface Science**. 284: 440–446.
- Witoon, T., M. Chareonpanich and J. Limtrakul. 2008. Synthesis of bimodal porous silica from rice husk ash via sol-gel process using chitosan as template. **Materials Letters**. 62: 1476–1479.
- Witoon, T., S. Tepsarn, P. Kittipokin, B. Embley and M. Chareonpanich. 2011. Effect of pH and chitosan Concentration on precipitation and morphology of hierarchical porous silica. **Journal of Non-Crystalline Solids**. 357: 3513–3519.
- Zhuravlev, L.T. 2000. The surface chemistry of amorphous silica. Zhuravlev model. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 173: 1–38.

การวิเคราะห์ซิงค์ไพริธอนในยาสระผมขจัดรังแคแบบรวดเร็ว

โดยใช้ลิควิดโครมาโทกราฟีร่วมกับคอลัมน์ชนิดโมโนลิธิค

FAST ANALYSIS OF ZINC PYRITHIONE IN ANTIDANDRUFF SHAMPOO

BY LIQUID CHROMATOGRAPHY WITH MONOLITHIC COLUMN

จุฑามาศ ชุมแสง

นักศึกษานิเทศศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

E-mail: jchumsang@hotmail.com

วรารัฐ ดิยพงศ์พัฒนา

อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

E-mail: twarawut@tu.ac.th

บทคัดย่อ

ซิงค์ไพริธอน (zinc pyrithione, ZPT) เป็นสารที่มีคุณสมบัติด้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อรา จึงนิยมใช้เป็นสารขจัดรังแคในยาสระผม แต่มีรายงานว่า ถ้าใช้ ZPT ที่ปริมาณสูงอาจทำให้เกิดการแพ้ในมนุษย์และสัตว์ ทางกระทรวงสาธารณสุขจึงได้กำหนดปริมาณสูงสุดของ ZPT ในยาสระผมขจัดรังแค งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีรีเวิร์สเฟสไฮเพอร์ฟอร์แมนส์ลิควิดโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในยาสระผมขจัดรังแค โดยอาศัยปฏิกิริยาทรานส์เคชันจาก ZPT เป็นคอปเปอร์ไพริธอน (copper pyrithione, CPT) เพื่อให้อยู่ในรูปที่เสถียรยิ่งขึ้น แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟีที่ใช้คอลัมน์ชนิดโมโนลิธิค โดยใช้เมทานอลกับน้ำ (60 : 40) เป็นเฟสเคลื่อนที่ ที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ทำให้สามารถแยกและตรวจวัดได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 5 นาที และได้ทำการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้นพบว่า มีความไว ความแม่นยำ และความเที่ยงสูง โดยกราฟมาตรฐานที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ ZPT มีความเป็นเส้นตรงในช่วง 0.005% ถึง 6.67% โดยน้ำหนัก ($r^2 = 0.9991$) มีขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนัก และมีขีดจำกัดของการหาปริมาณเท่ากับ 0.005% โดยน้ำหนัก การตรวจสอบความเที่ยงแบบ repeatability และ reproducibility ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 1.81% และ 3.30% ($n=10$) ตามลำดับ และตรวจสอบความแม่นยำโดยอาศัยค่าร้อยละการกลับคืน พบว่าอยู่ในช่วงร้อยละ 94.11 ± 1.35 ถึง 97.57 ± 0.34 จากนั้นได้นำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณ ZPT ในตัวอย่างยาสระผมขจัดรังแคที่วางจำหน่ายในท้องตลาด จำนวน 8 ตัวอย่าง พบว่ามีปริมาณ ZPT ในช่วง $0.48 \pm 0.01\%$ ถึง $0.83 \pm 0.01\%$ โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ: ซิงค์ไพริธอน สารขจัดรังแค คอลัมน์ชนิดโมโนลิธิค ทรานส์เคชัน ลิควิดโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว

ABSTRACT

Zinc pyrithione (ZPT) is an antibacterial and antifungal reagent which is utilized as an antidandruff additive in shampoo. However, high content of ZPT can cause allergic interaction in human and animal. Thai ministry of public health specifies the limit of ZPT in shampoo. In this work, a fast, simple and efficient reversed-phase HPLC was carried out using C18 monolithic column for the determination of ZPT after transchelation to copper pyrithione (CPT). A mobile phase contained methanol and water (60 : 40) at flow rate of 1.0 mL min⁻¹. The derivative was detected at 320 nm. Under the optimal condition, the analysis time was less than 5 minutes. The method validation illustrated a good sensitivity, precision and accuracy. The working range was achieved by plotting between the peak area and the concentration of ZPT in range of 0.005% to 6.67% w/w ($r^2 = 0.9991$). The limits of detection and quantitation were 0.001% and 0.005% w/w, respectively. This developed method presented the acceptable precision in terms of repeatability and reproducibility with RSD of 1.81% and 3.30% ($n=10$), respectively. The accuracy of this method was reported as the recovery of relate spiked amounts versus measured component concentrations. The satisfactory recoveries were in range of $94.11 \pm 1.35\%$ to $97.57 \pm 0.34\%$. The proposed method was successfully applied to determine the amount of ZPT in eight antidandruff shampoos. ZPT amounts were found ranging from $0.48 \pm 0.01\%$ to $0.83 \pm 0.01\%$ w/w.

KEY WORDS: zinc pyrithione, antidandruff, monolithic column, transchelation, fast liquid chromatography

บทนำ

รังแค (dandruff) เป็นปฏิกิริยาของเซลล์หนังศีรษะที่แบ่งตัวมากขึ้นกว่าปกติ แล้วหลุดออกง่ายและเร็วกว่าปกติ กลายเป็นขุยขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดจากยีสต์ *Malassezia* หนังศีรษะแห้ง โรคบางชนิด รวมถึงการแพ้สารเคมีจากน้ำยาดัดผมหรือยาข้อมผม เป็นต้น (Shuster, 1984; Gueho et al. 1996; Ro and Dawson, 2005) การรักษาในปัจจุบันได้มีการใช้ยาสระผมที่มีส่วนผสมของสารจจัดรังแค โดยสารออกฤทธิ์ที่นิยมใช้ คือ ซิงค์ไพริธิโอน (zinc pyrithione, ZPT) ทางกระทรวงสาธารณสุขได้กำหนดปริมาณสูงสุดของ ZPT ในผลิตภัณฑ์จจัดรังแค โดยกำหนดให้ผลิตภัณฑ์จจัดรังแคประเภทที่ต้องล้างออกมีปริมาณ ZPT ได้ไม่เกิน 2.0% โดยน้ำหนัก และในผลิตภัณฑ์จจัดรังแคประเภทที่ไม่ต้องล้างออกมีได้ไม่เกิน 0.5% โดยน้ำหนัก (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2551) แต่สารนี้เป็นสารอันตราย เนื่องจากมีงานวิจัยว่า ถ้าทากร่างกายได้รับ ZPT ในปริมาณมากอาจเกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังและยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ cell growth ในโฟโบริบลาสต์ของมนุษย์และในเซลล์กระจกตาของกระต่ายได้ (Santa et al. 1996) ดังนั้นการควบคุมและวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในยาสระผมจจัดรังแคจึงมีความสำคัญ

วิธีวิเคราะห์ปริมาณ ZPT มีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธีไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานไอโอดีน (Iodometric titration) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน นอกจากนี้ได้มีผู้เสนอวิธีทางเลือก ได้แก่ การนำยาสระผมไปเจือจาง (dilution) แล้ววิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Wang, 2000) หรือใช้วิธี flow injection analysis (FIA) (Shih et al.,

2004) หรือการนำยาสระผสมไปย่อยด้วยไมโครเวฟ (microwave digestion) แล้วตรวจวัดด้วยเฟลมอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (flame atomic absorption spectrometry, FAAS) (Salvador et al., 2000) หรือการทำให้เกิดอนุพันธ์ (derivatization) ของ ZPT ด้วยสารฟลูออเรสเซนต์ แล้วตรวจวัดด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี (high-performance liquid chromatography, HPLC) (Kondoh and Takano, 1987)

เนื่องจาก ZPT ไม่เสถียร และยาสระผสมมีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) อีกทั้งอาจมีซิงค์ซัลเฟต (zinc sulfate) หรือซิงค์คาร์บอเนต (zinc carbonate) เป็นส่วนผสมซึ่งอาจรบกวนการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการแยกที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อแยกสารออกจากองค์ประกอบอื่นๆ หรือแมทริกซ์ในยาสระผสม โดยอาศัยปฏิกิริยาทรานส์คีเลชัน (transchelation) จาก ZPT เป็น CPT เพื่อให้อยู่ในรูปที่เสถียรยิ่งขึ้น เนื่องจาก Cu^{2+} มีค่า formation constant (K) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเสถียรในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไพริธอนลิแกนด์ที่มากกว่า Zn^{2+} โดย Cu^{2+} มีค่า $K > 8.5$ ในขณะที่ Zn^{2+} มีค่า $K = 5.3$ (Lofts, 2009; Sun et al., 1964) ดังนั้นในปี ค.ศ.1975 Kabacoff และ Fairchild จึงได้นำยาสระผสมไปทำปฏิกิริยาทรานส์คีเลชันแล้วตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี (spectrophotometry) และมีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟีในการตรวจวัด (Nakajima et al., 1990; Ferioli et al., 1995) แต่พบว่าใช้เวลาในการวิเคราะห์มากกว่า 30 นาทีและ 20 นาที ตามลำดับ และพีคไม่สามารถแยกออกจากแมทริกซ์ได้สมบูรณ์และยังเกิด tailing อีกด้วย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็วสำหรับวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในตัวอย่างยาสระผสม ประเภทยาสระผสมขจัดรังแค โดยอาศัยปฏิกิริยาทรานส์คีเลชัน แล้วทำการวิเคราะห์หัตถ์ด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟีร่วมกับการใช้คอลัมน์ชนิดโมโนลิธิก ซึ่งเป็นคอลัมน์มีคุณสมบัติพิเศษคือเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) ประกอบด้วยรูพรุนสองขนาดคือ รูพรุนขนาดเล็ก (mesopore) ที่มีขนาดประมาณ 12 นาโนเมตร ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแยกเพิ่มมากขึ้น และรูพรุนขนาดใหญ่ (macropore) ที่มีขนาดประมาณ 2 ไมโครเมตร ซึ่งลดการแพร่ตามแนวยาว (diffusion path length) และมีแรงดันกลับที่ต่ำ (low back pressure) ทำให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ ส่งผลให้การวิเคราะห์ทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น (Nunez et al., 2012)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาวิธีลิควิดโครมาโทกราฟีโดยใช้คอลัมน์ชนิดโมโนลิธิกสำหรับวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในยาสระผสมขจัดรังแค
- 2.2 เพื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในตัวอย่างยาสระผสมขจัดรังแคที่วางจำหน่ายตามร้านค้าทั่วไป

วิธีการดำเนินวิจัย

เครื่องมือ

เครื่องลิควิดโครมาโทกราฟี บริษัท Shimadzu รุ่น LC20A ประกอบด้วย pump รุ่น LC-20AT, degasser รุ่น DGU 20A5 วาล์ว บริษัท Rheodyne รุ่น 7725i ที่มี injector loop ขนาด 20 ไมโครลิตร ตรวจวัดด้วยเครื่อง

ตรวจวัด รุ่น SPD-20A ใช้คอลัมน์ชนิดโมโนลิธิค บริษัท Merck รุ่น Chromolith HighResolution RP-18e ขนาด 4.6 x 100 mm I.D และใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ บริษัท Shimadzu รุ่น UV-1700 PharmaSpec

สารเคมี

น้ำที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำปราศจากไอออน (type I) สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ 1-hydroxypyridine-2-thione zinc salt (ZPT) (เกรด HPLC, บริษัท Aldich) citric acid monohydrate (เกรดสำหรับวิเคราะห์, บริษัท RCI Labscan) chloroform (เกรด HPLC, บริษัท RCI Labscan) methanol (เกรด HPLC, บริษัท RCI Labscan) acetonitrile (เกรด HPLC, บริษัท RCI Labscan) di-sodium hydrogen phosphate anhydrous (เกรดสำหรับวิเคราะห์, บริษัท Rankem) และ copper (II) sulfate (เกรดสำหรับวิเคราะห์, บริษัท Univar)

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน CPT

ปิเปตต์สารละลายมาตรฐาน ZPT ที่ละลายในคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (95 : 5) ที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง จากนั้นเติมบัฟเฟอร์ pH 6 ที่อุณหภูมิห้อง คลอโรฟอร์ม : เมทานอล (95 : 5) ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร และเติมสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และนำสารละลายชั้นล่างมากรองด้วยเมมเบรนที่มีรูพรุนขนาด 0.22 ไมครอนเมตร แล้วฉีดเข้าเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟี

การเตรียมตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.07xx กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6 ที่อุณหภูมิห้อง คลอโรฟอร์ม : เมทานอล (95 : 5) แล้วนำไปละลายโดยใช้เครื่องคลื่นเสียง ความถี่ต่ำจนละลายเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ pH 6 ที่อุณหภูมิห้อง คลอโรฟอร์ม : เมทานอล (95 : 5) ปิเปตต์สารละลายที่ได้ ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง แล้วเติมคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (95 : 5) ที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 5.00 มิลลิลิตร และเติมสารละลายคอปเปอร์ (II) ซัลเฟต ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับการเตรียมสารละลายมาตรฐาน CPT ในข้อ 3.3

ผลการวิจัย

การหาสภาวะที่เหมาะสมของลิควิดโครมาโทกราฟีสำหรับการวิเคราะห์ ZPT ในยาสระผมขจัดรังแค

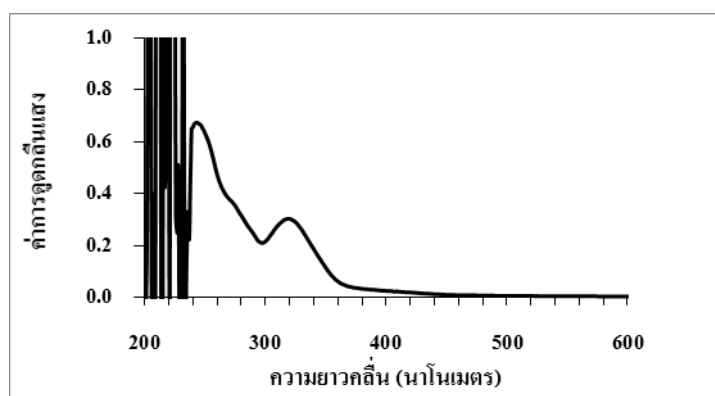
ความยาวคลื่น (wavelength)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้เปลี่ยนรูปของ ZPT เป็น CPT โดยอาศัยปฏิกิริยาทรานส์ลีสชัน จึงได้ศึกษาความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับตรวจวัดในรูป CPT ดังแสดงในภาพประกอบ 1 พบว่าความยาวคลื่นที่ CPT มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดคือ 243 นาโนเมตร แต่อยู่ในช่วงความยาวคลื่นที่คลอโรฟอร์มสามารถดูดกลืนแสงได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงเลือกความยาวคลื่นที่มีค่าการดูดกลืนแสงรองลงมาคือ 320 นาโนเมตร เป็นความยาวคลื่นที่ใช้การตรวจวัดเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase)

ชนิดและอัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้เป็นเฟสเคลื่อนที่ ได้แก่ อะซิโตน-ไตรคลอโรเอทิลและเมทานอล เพื่อหาชนิดของเฟสเคลื่อนที่ที่สามารถแยกสารได้รวดเร็วที่สุด และมีรูปร่างพีคที่ดี โดยศึกษาที่อัตราส่วน

ของตัวทำละลายอินทรีย์กับน้ำที่ 40 : 60, 50 : 50, 60 : 40 และ 70 : 30 ตามลำดับ ที่อัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่า เมื่อใช้อะซิโตนไครล์กับน้ำทุกอัตราส่วนไม่สามารถแยกสารออกจากเมทริกซ์ได้ แต่เมื่อใช้เมทานอลกับน้ำเป็นเฟสเคลื่อนที่ พบว่า สามารถแยกสารออกจากเมทริกซ์ได้ที่อัตราส่วนเฟสเคลื่อนที่ที่เป็น 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 โดยพีคของ CPT จะเคลื่อนที่ออกมาเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเมทานอลเนื่องจากการเพิ่มความแรง (organic strength) ในการชะ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 2(a) ถึง 2(d) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกเฟสเคลื่อนที่ที่เป็นเมทานอลกับน้ำ



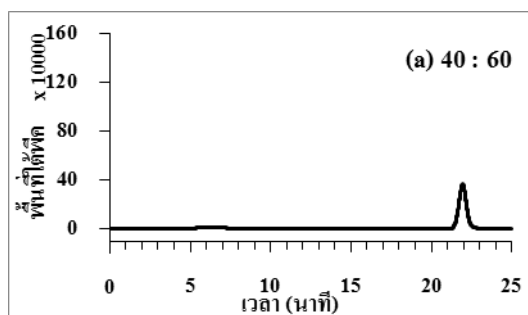
ภาพประกอบ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของ CPT ที่ความยาวคลื่น 200 ถึง 600 นาโนเมตร

อัตราการไหล (Flow rate)

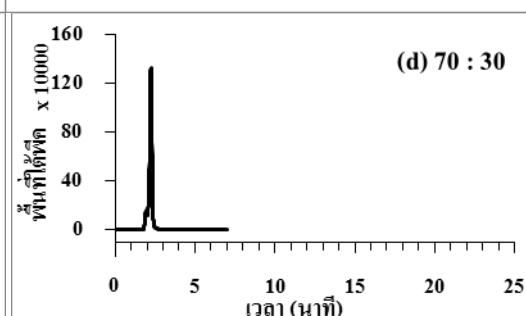
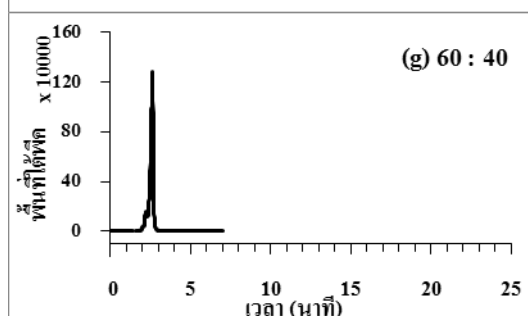
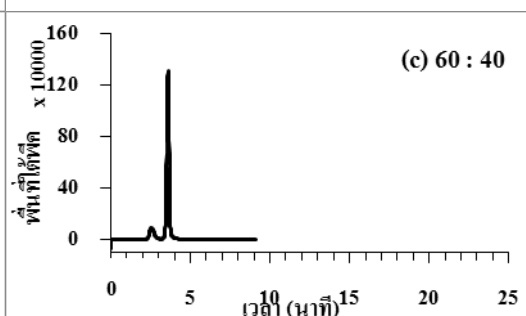
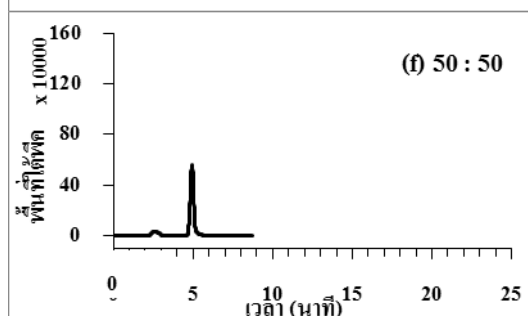
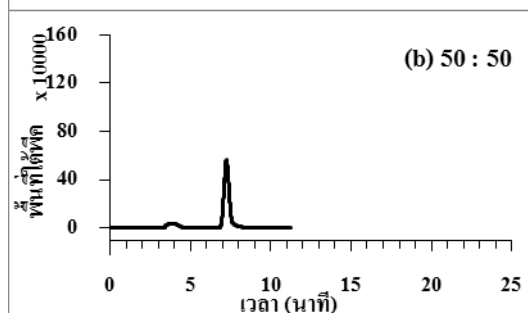
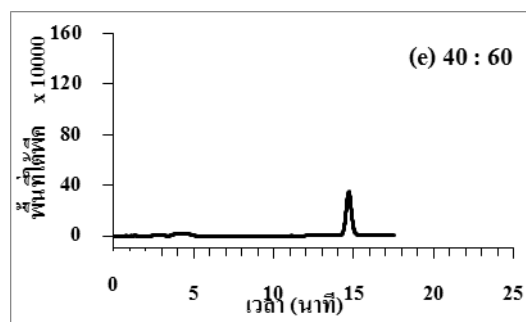
เมื่อได้ชนิดของเฟสเคลื่อนที่ที่เป็นเมทานอลกับน้ำแล้ว จึงได้ศึกษาอัตราการไหลของเฟสเคลื่อนที่ที่อัตราส่วนต่างๆ ของเมทานอลกับน้ำ เพื่อให้แยกสารได้รวดเร็วที่สุด โดยศึกษาที่อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่เท่ากับ 40 : 60, 50 : 50 และ 60 : 40 ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที เทียบกับอัตราการไหล 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที ดังภาพประกอบ 2(e) ถึง 2(g) โดยใช้สารละลายมาตรฐาน ZPT ความเข้มข้น 3.33% โดยน้ำหนัก พบว่า เมื่อใช้เฟสเคลื่อนที่เมทานอลกับน้ำอัตราส่วน 60 : 40 ที่อัตราการไหลเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากแยกสารได้ดีและมีรูปร่างพีคที่สมมาตร อีกทั้งแยกสารได้รวดเร็วที่สุดภายในเวลา 5 นาที โดย retention time (tR) ของ CPT อยู่ที่ 3.4 นาที

ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมทางโครมาโทกราฟีสำหรับวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในยาสระผมขจัดรังแค คือ ใช้เฟสเคลื่อนที่ที่เป็นเมทานอลกับน้ำ อัตราส่วน 60 : 40 ใช้อัตราการไหลเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที และทำการตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร

อัตราการใช้ 1.0 มิลลิตรต่อนาที



อัตราการใช้ 1.5 มิลลิตรต่อนาที



ภาพประกอบ 2 ผลของการใช้เฟสเคลื่อนที่เมทานอลกับน้ำต่อการแยกของพีค CPT ที่อัตราการใช้ 1.0 มิลลิตรต่อนาที อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่เมทานอลกับน้ำที่ (a) 40 : 60, (b) 50 : 50, (c) 60 : 40 และ (d) 70 : 30 และที่อัตราการใช้ 1.5 มิลลิตรต่อนาที อัตราส่วนเฟสเคลื่อนที่เมทานอลกับน้ำที่ (e) 40 : 60, (f) 50 : 50 และ (g) 60 : 40

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีทดสอบ (method validation)

ในงานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีที่พัฒนาขึ้น โดยใช้เกณฑ์ตามข้อกำหนดของ AOAC International เพื่อประเมินความใช้ได้ของวิธีทางเคมีสำหรับห้องปฏิบัติการเดียว (single laboratory validation of chemical method) (AOAC International, 2002; Miller, J. C. and Miller, J. N., 1992) ช่วงการใช้งาน (working range) การศึกษาช่วงการใช้งาน (working range) โดยการสร้างกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน ZPT (แกน X) กับพื้นที่ใต้พีค (แกน Y) พบว่า มีความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้นของ ZPT อยู่ในช่วง 0.005% ถึง 6.67% โดยน้ำหนัก ($r^2 = 0.9991$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นของ ZPT ได้ในช่วงกว้าง

ขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection, LOD) และขีดจำกัดของการหาปริมาณ (limit of quantitation, LOQ) สำหรับงานวิจัยนี้ ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัด ($\text{blank} + 3\text{SD}$) เท่ากับ 0.001% โดยน้ำหนัก ส่วนค่าขีดจำกัดของการหาปริมาณ ($\text{blank} + 10\text{SD}$) เท่ากับ 0.005% โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นมีความไวสูง สามารถตรวจวัดที่ระดับความเข้มข้นต่ำๆ ได้ และต่ำเพียงพอที่จะตรวจวัด ZPT ในตัวอย่างยาสระผมขจัดรังแคตามข้อกำหนดของกระทรวงสาธารณสุข

ความเที่ยง (precision)

ในการตรวจสอบความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ อาศัยการทำ repeatability และ reproducibility โดยประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของพื้นที่ใต้พีค โดยการทำ repeatability เป็นการทดสอบความเที่ยงในการทำซ้ำในสภาวะเดียวกัน โดยเตรียมตัวอย่าง 1 ขวด แล้วฉีดเข้าเครื่องลิควิดโครมาโทกราฟี จำนวน 10 ครั้ง และการทดสอบ reproducibility โดยการเตรียมตัวอย่าง 10 ขวด แล้วฉีดเข้าเครื่องโครมาโทกราฟี ขวดละ 1 ครั้ง พบว่าได้ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 1.81% และ 3.30 % ($n=10$) ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ AOAC International กำหนด แสดงให้เห็นว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นมีความเที่ยงสูง

การศึกษาความแม่นยำ (accuracy)

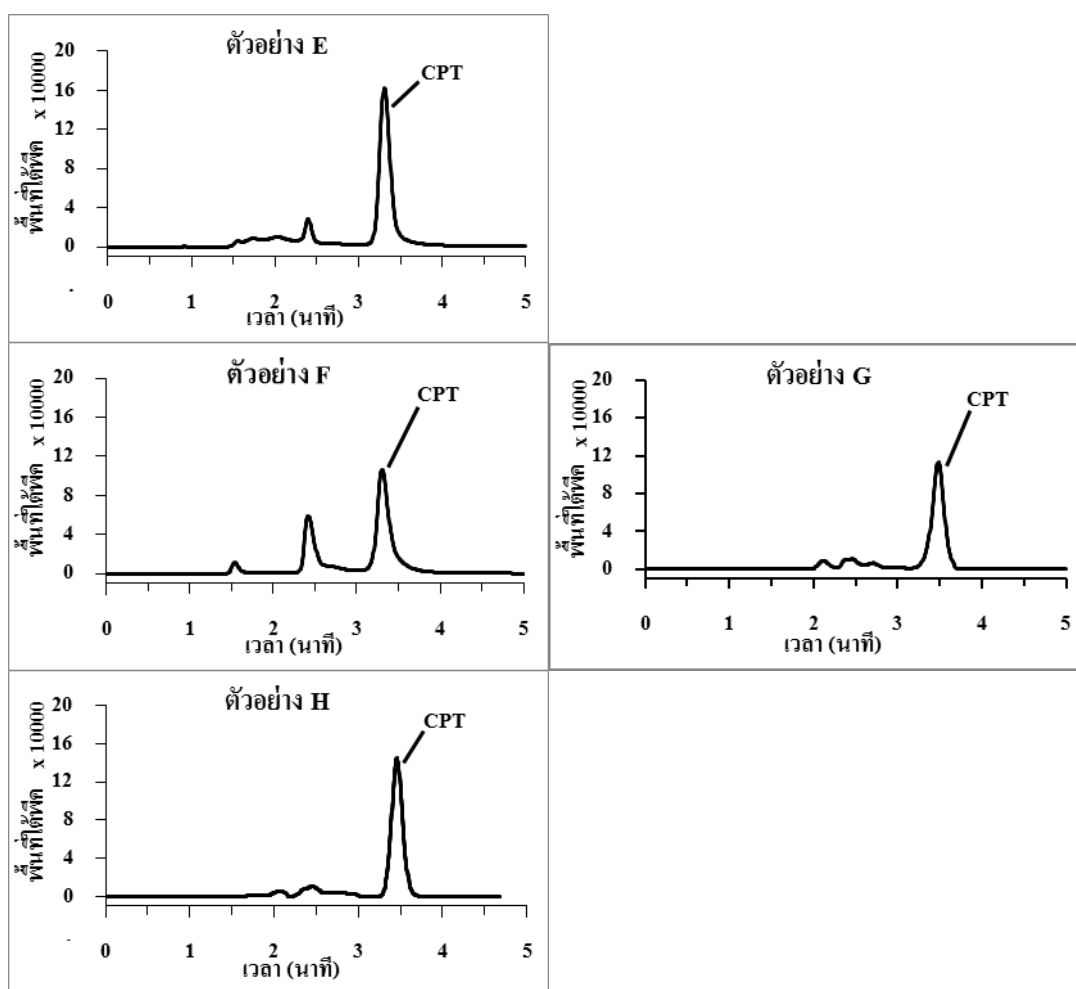
ความแม่นยำของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น ได้ตรวจสอบโดยการหาค่าร้อยละการกลับคืน (recovery) โดยเติมสารละลายมาตรฐาน ZPT ที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนลงในตัวอย่าง พบว่า ได้ค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วงร้อยละ 94.11 ± 1.35 ถึง 97.57 ± 0.34 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ที่ AOAC International กำหนด เพราะฉะนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำสูง

การวิเคราะห์ในตัวอย่างจริง

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในตัวอย่างยาสระผมขจัดรังแค โดยสุ่มเลือกจากที่วางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้าในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงเดือนสิงหาคม 2557 จำนวน 8 ยี่ห้อ ยี่ห้อละ 1 ตัวอย่าง ซึ่งผลิตโดยบริษัทที่แตกต่างกัน พบว่า ตัวอย่างยาสระผมขจัดรังแคมีปริมาณ ZPT อยู่ในช่วง $0.48 \pm 0.01\%$ ถึง $0.83 \pm 0.01\%$ โดยน้ำหนัก ซึ่งทั้งหมดมีความเข้มข้นอยู่ในเกณฑ์ตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข, 2551) โดยผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 1 และ ภาพประกอบ 3

ตาราง 1 ปริมาณ ZPT ที่ตรวจพบในตัวอย่างยาสระผมขจัดรังแค

ตัวอย่าง	ความเข้มข้น (% โดยน้ำหนัก)
A	0.77 ± 0.05
B	0.71 ± 0.04
C	0.83 ± 0.10
D	0.72 ± 0.09
E	0.74 ± 0.04
F	0.48 ± 0.05
G	0.56 ± 0.04
H	0.63 ± 0.04



ภาพประกอบ 3 ตัวอย่างโครมาโทแกรมของยาสระผมขจัดรังแค

5. สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาวิธีลิกวิดโครมาโทกราฟีแบบรวดเร็วที่ใช้คอลัมน์ชนิดโมโนลิติก สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในยาสระผมขจัดรังแค ที่มีความไว ความแม่นยำ และความเที่ยงสูง จุดเด่นของวิธีที่พัฒนาขึ้นคือ สามารถแยกสารได้อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาเพียง 5 นาที จึงช่วยลดการใช้

ปริมาณเฟสเคลื่อนที่ และยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากลดการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ นอกจากนี้ยังลดการใช้พลังงาน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ที่ผ่านมา (Kondoh and Takano, 1987; Nakajima et al., 1990; Ferioli et al., 1995) และสามารถวิเคราะห์จำนวนตัวอย่างได้มากขึ้นอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

ในอนาคตจะได้นำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณ ZPT ในผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผมและหนังศีรษะชนิดอื่นๆ เช่น ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์บำรุงผม เป็นต้น ที่มีจำหน่ายในประเทศ เพื่อขยายขอบเขตของวิธีวิเคราะห์

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี และศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัยตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

8. รายการอ้างอิง

- กระทรวงสาธารณสุข. 2551. “ประกาศกระทรวงสาธารณสุข.” ราชกิจจานุเบกษา, 1, 125 สืบค้นเมื่อ วันที่ 21 มิถุนายน 2557, จาก <http://e-cosmetic.fda.moph.go.th>
- AOAC International. 2002. “AOAC Requirements for Single Laboratory Validation of Chemical Methods.” Draft 2002-11-07, 47, 1-33.
- Ferioli, V., Rustichelli, C., Vezzalini, F., & Gamberini, G. (1995). Analysis of pyrrithiones by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Chromatographia*, 40(11-12), 669-673.
- Gueho, E., Midgley, G., & Guillot, J. (1996). The genus *Malassezia* with description of four new species. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 69(4), 337-355.
- In Ro, B., & Dawson, T. L. (2005). The Role of Sebaceous Gland Activity and Scalp Microfloral Metabolism in the Etiology of Seborrheic Dermatitis and Dandruff. *Journal of Investigative Dermatology. Symposium Proceedings*, 10(3), 194-197.
- Kabacoff B. & Fairchild C. (1975). Determination of zinc pyrrithione by chelate exchange. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 26(1), 453-359.
- Kondoh, Y., & Takano, S. (1987). Determination of zinc pyrrithione in cosmetic products by high-performance liquid chromatography with pre-labelling. *Journal of Chromatography A*, 408, 255-262.
- Lofts, S. 2009. “Speciation of Pyrrithione in Freshwaters.” CEH Project Number C03634: NERC/Centre for Ecology and Hydrology. Retrieved June 1, 2014, from <http://nora.nerc.ac.uk/9924/2/N009924CR.pdf>
- Miller, J. C., & Miller, J. N. 1993. *Statistics for Analytical Chemistry*. New York: Ellis Horwood PTR Prentice Hall.

- Nakajima, K., Yasuda, T., & Nakazawa, H. (1990). High-performance liquid chromatographic determination of zinc pyrithione in antidandruff preparations based on copper chelate formation. **Journal of Chromatography A**, 502(0), 379-384.
- Nunez, O., Gallart-Ayala, H., Martins, C. P., & Lucci, P. (2012). New trends in fast liquid chromatography for food and environmental analysis. **Journal of Chromatography A**, 1228, 298-323.
- Salvador, A., Pascual-Marti, M. C., Aragó, E., Chisvert, A., & March, J. G. (2000). Determination of selenium, zinc and cadmium in antidandruff shampoos by atomic spectrometry after microwave assisted sample digestion. **Talanta**, 51(6), 1171-1177.
- Santa Maria, A., Pozuelo, J. M., Lopez, A., & Sanz, F. (1996). Toxicity of potential irritants in mammalian cells in vitro. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 34(1), 56-58.
- Seymour, M. D., & Bailey, D. L. (1981). Thin-layer chromatography of pyrithiones. **Journal of Chromatography A**, 206(2), 301-310.
- Shih, Y., Zen, J.-M., Kumar, A. S., & Chen, P.-Y. (2004). Flow injection analysis of zinc pyrithione in hair care products on a cobalt phthalocyanine modified screen-printed carbon electrode. **Talanta**, 62(5), 912-917.
- Shuster, S. A. M. (1984). The aetiology of dandruff and the mode of action of therapeutic agents. **British Journal of Dermatology**, 111(2), 235-242.
- Sun, P. J., Fernando, Q., & Freiser, H. (1964). Structure and Behavior of Organic Analytical Reagents. Formation Constants of Transition Metal Complexes of 2-Hydroxypyridine-1-Oxide and 2-Mercaptopyridine-1-Oxide. **Analytical Chemistry**, 36(13), 2485-24
- Wang, L.-H. (2000). Determination of Zinc Pyrithione in Hair Care Products on Metal Oxides Modified Carbon Electrodes. **Electroanalysis**, 12(3), 227-232.

การหาลักษณะเด่นที่เหมาะสมของอัลกอริทึม SIFT สำหรับการวิเคราะห์ภาพลายเซ็น

OPTIMIZATION OF SCALE INVARIANT FEATURE TRANSFORM

ALGORITHM FOR SIGNATURE IMAGE ANALYSIS

ชัชวาลย์ วรวิทย์รัตนกุล

นักศึกษานิเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Chatchawan.wo@spu.ac.th

สุรศักดิ์ มั่งสิงห์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Surasak.mu@spu.ac.th

บทคัดย่อ

วิธีการ Scale Invariant Feature Transform (SIFT) เป็นวิธีการหาลักษณะเด่นของภาพที่ได้รับความนิยม โดยการหาลักษณะเด่นของภาพด้วยวิธี SIFT จะใช้หลักการซ้ำซ้ำเพื่อหาจุดสนใจของภาพ (Keypoint) ซึ่งภาพแต่ละภาพที่ใช้ในการหาจุดสนใจของภาพ จะใช้จำนวนรอบ (Octave) ในการวิเคราะห์ไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้จุดสนใจของภาพที่ได้ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจุดสนใจของภาพที่เหมาะสมหรือไม่ ในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการกำหนดจำนวนรอบในการหาจุดสนใจของภาพลายเซ็นที่เหมาะสม โดยใช้การเปรียบเทียบจุดสนใจของภาพในแต่ละรอบด้วยการวัดระยะทางยูคลิด (Euclidean distance) ระหว่างจุดสนใจ และนำจุดสนใจที่ได้กำหนดส่วนของภาพลายเซ็นเพื่อเปรียบเทียบกับลายเซ็นสมมติ เพื่อยืนยันจุดสนใจที่เหมาะสม

ผลการวิจัยใช้ตัวอย่างลายเซ็นจากบุคคลทั่วไปจำนวน 10 คนๆ ละ 20 ลายเซ็นรวม 200 ลายเซ็นพบว่า จุดสนใจของภาพลายเซ็นที่เหมาะสมจะเกิดในรอบที่ 4 และ 5 ผลการเปรียบเทียบภาพส่วนของลายเซ็นกับภาพลายเซ็นสมมติโดยบุคคลทั่วไป 10 คนๆ ละ 40 ลายเซ็นรวม 400 ลายเซ็น มีค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 97.75

คำสำคัญ : SIFT จุดสนใจของภาพ การหาระยะทางยูคลิด

ABSTRACT

Scale Invariant Feature Transform (SIFT) is a well-known method to locate the image feature(s). It uses SIFT to repetitively find the key point(s) in the image. Each image will require a different number of repetitions (called Octave), making it difficult to determine whether or not the found feature is actually the most

interesting feature. The research will look into how many octave(s) will be required, by comparing the Euclid Distance between each octave's feature points. It will then compare the determined feature points with the signature image for the purpose of the authentication.

The research uses signature image from ten volunteers. Each of whom will contribute twenty signature images, making the combined number of signature images to be two hundred signatures. The research found that the optimal octave is in the fourth and fifth octave. Furthermore the research compares a portion of signature with the full signature by using the signature images from 10 volunteers. Each of whom contributes 40 signatures, making a total of signatures to be 400 signatures. The accuracy of the comparison is at 97.75%.

KEYWORDS: SIFT, Keypoint, Euclidean distance

1. บทนำ

การรู้จำวัตถุโดยทั่วไปจะใช้หลักการในการหาลักษณะเด่นของภาพเพื่อใช้เป็นตัวแทนเพื่อเข้าสู่การเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine Learning) ลักษณะเด่นของภาพต่างๆ ที่นำมาวิเคราะห์จะถูกกำหนดโดยผู้วิจัย ตามคุณสมบัติของภาพนั้นๆ เช่น การจดจำใบหน้า จะใช้การดูเส้นขอบของหน้า ดวงตา จมูก ปาก เป็นต้น ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีรูปแบบชัดเจนสำหรับหน้าของคนทุกคน ในงานวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำลายเส้นมีการกำหนดลักษณะเด่นของภาพด้วยรูปแบบต่างๆ ตามที่ผู้วิจัยกำหนด Emre Özgündüz. (2005), D. K. Bhole. (2010), P. M. Mhatre (2011)

การรู้จำวัตถุมีอัลกอริทึมในการวิเคราะห์มากมาย และวิธี Scale Invariant Feature Transform (SIFT) เป็นวิธีการรู้จำวัตถุวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยม โดยการหาลักษณะเด่นของภาพด้วยวิธี SIFT จะใช้หลักการทำซ้ำเพื่อหาจุดสนใจของภาพ (Keypoint) ซึ่งภาพแต่ละภาพที่ใช้ในการหาจุดสนใจของภาพ จะใช้จำนวนรอบ (Octave) ในการวิเคราะห์ไม่เท่ากัน ซึ่งทำให้จุดสนใจ ของภาพที่ได้ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นจุดสนใจ ของภาพที่เหมาะสมหรือไม่ ในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการกำหนดจำนวนรอบในการหาจุดสนใจ ของภาพลายเส้นที่เหมาะสม โดยใช้การเปรียบเทียบจุดสนใจของภาพในแต่ละรอบด้วยการวัดระยะทางยูคลิด (Euclidean distance) ระหว่างจุดสนใจ และนำ จุดสนใจที่ได้กำหนดส่วนของภาพลายเส้นเพื่อเปรียบเทียบกับลายเส้นสมบูรณ์ เพื่อยืนยันจุดสนใจที่เหมาะสม

2. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

2.1 Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

นำมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาจุดเด่นของรูปภาพที่ได้รับเข้ามา โดยไม่ขึ้นกับขนาดหรือทิศทางของวัตถุในภาพ ซึ่งลักษณะเด่นที่ได้จากวัตถุลักษณะเดียวกันจะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันโดยวิธีการของ SIFT จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน D. Lowe. (2004) คือ

1. การหาปริภูมิค่าในมิติขนาดและระยะทาง (Scale-space extrema detection)

เป็นขั้นตอนของการหาลักษณะเด่นของภาพ สามารถนิยามได้ด้วยค่า $L(x, y, \sigma)$ ที่เกิดจากการคอนโวลูชันภาพ $I(x, y)$ ด้วยฟังก์ชันตัวกรองแบบเกาส์เซียนหลายระดับ

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (1)$$

เมื่อ
$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

2. การกำหนดตำแหน่งจุดสนใจ (Keypoint localization)

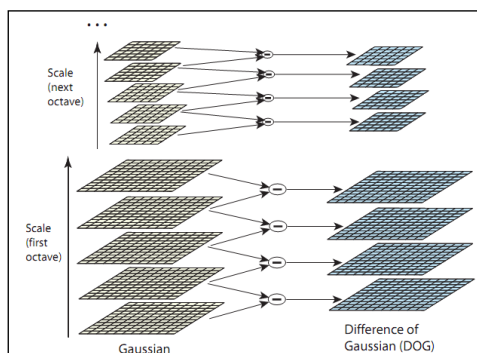
ข้อมูลภาพที่ผ่านการกรองแล้วจะต้องหาค่าความแตกต่างของแผ่นข้อมูลภาพระหว่างชั้นของข้อมูลที่อยู่ติดกัน ด้วยวิธีการ Difference of Gaussian (DoG) แสดงดังภาพที่ 1 โดย $G(x, y, \sigma_i)$ เป็นฟังก์ชันตัวกรองแบบเกาส์เซียนที่มีขนาด σ_i โดย i คือลำดับของแผ่นข้อมูลตั้งแต่ 1 ถึง 5 แสดงดังภาพที่ 1 ตัวอย่างเช่น แผ่นข้อมูลภาพ $L(x, y, \sigma_1)$ ที่กรองด้วยค่าตัวกรองเกาส์เซียน σ_1 และแผ่นข้อมูลภาพ $L(x, y, \sigma_2)$ ที่กรองด้วยค่าตัวกรองเกาส์เซียน σ_2 จะหาค่า DoG ได้ แสดงดังสมการที่ (3), (4) และ (5)

$$L(x, y, \sigma_1) = G(x, y, \sigma_1) * I(x, y) \quad (3)$$

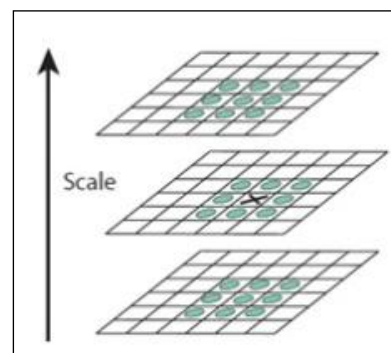
$$L(x, y, \sigma_2) = G(x, y, \sigma_2) * I(x, y) \quad (4)$$

$$DoG = L(x, y, \sigma_2) - L(x, y, \sigma_1) \quad (5)$$

ขั้นตอนลำดับถัดไปคือ การหาค่าสูงสุดและต่ำสุด เพื่อเลือกเป็นจุดสนใจ จุดข้อมูลภาพจะถูกเทียบกับจุดรอบข้าง 8 จุด และ 9 จุดในชั้นที่อยู่ติดกัน แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การหาค่า DoG ของภาพในแต่ละช่วงข้อมูล



ภาพที่ 2 การพิจารณาจุดของภาพ เพื่อเลือกเป็นจุดสนใจ

3. การกำหนดทิศทางของจุดสนใจ (Orientation assignment)

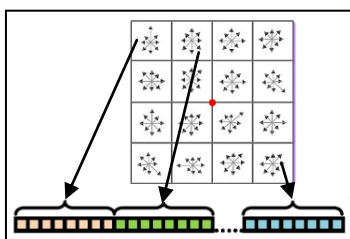
เมื่อได้จุดสนใจแล้ว จะเป็นการกำหนดทิศทางของจุดสนใจโดยทำการหาขนาด $m(x, y)$ และทิศทาง $\theta(x, y)$ ของจุดภาพที่ผ่านการกรองทั้งหมด เพื่อนำไปสร้างลักษณะเด่นของภาพ ดังสมการที่ (6) และ (7)

$$m(x, y) = \sqrt{(L(x+1, y) - L(x-1, y))^2 + (L(x, y+1) - L(x, y-1))^2} \quad (6)$$

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}((L(x, y+1) - L(x, y-1)) / (L(x+1, y) - L(x-1, y))) \quad (7)$$

4. การสร้างคำอธิบายลักษณะเด่นของภาพ (Keypoint descriptor)

การสร้างคำอธิบายลักษณะเด่นของภาพ โดยจะสร้างพื้นที่สนใจที่มีจุดสนใจเป็นจุดศูนย์กลาง ขนาด 16×16 window (window คือ บริเวณที่จะทำการเก็บข้อมูลทิศทาง) รอบจุดสนใจ และแบ่งพื้นที่ที่สนใจเป็นพื้นที่ย่อย ขนาด 4×4 window แสดงดังภาพที่ 3 ทั้งหมด 16 ชุด โดยในแต่ละชุดจะทำการคำนวณหาขนาดและทิศทางของ เกรเดียนต์แล้วนำมาสร้างเป็นแท่งความถี่ที่มีขนาด 8 ช่วง โดยที่ขนาดของแท่งความถี่ในแต่ละส่วนจะขึ้นกับขนาดคุณตัวถ่วงน้ำหนัก (ระยะทางที่ห่างจากจุดสนใจ) ดังนั้นเมื่อทำการคำนวณเสร็จสิ้น ผลลัพธ์ที่ได้คือ $4 \times 4 \times 8 = 128$ ซึ่งจะใช้เป็นลักษณะเด่นของแต่ละจุดสนใจ



ภาพที่ 3 ลักษณะเด่นของภาพที่ได้จากวิธี SIFT

2.2 การหาค่าจุดสนใจ

ในอัลกอริทึม SIFT การหาค่าจุดสนใจจะใช้หลักการซ้ำจำนวน n รอบ ในการวิเคราะห์ภาพลายเส้น โดยใช้วิธี SIFT เพื่อหา จุดสนใจที่เหมาะสมว่าจะต้องใช้การวิเคราะห์ทั้งหมดกี่รอบ โดยใช้การคำนวณหา ระยะทางแบบยุคลิดระหว่าง จุดสนใจ ในแต่ละรอบอยู่ในระยะที่กำหนด เพื่อกำหนดค่า จุดสนใจที่เป็นตัวแทนของภาพลายเส้นที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบความถูกต้องของจุดสนใจที่เหมาะสมจากการตรวจสอบด้วยบุคคล

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาขั้นตอนวิธีในการหาลักษณะเด่นของภาพที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ภาพลายเส้นด้วยวิธี Scale Invariant Feature Transform (SIFT)

4. วิธีการดำเนินวิจัย

4.1 กระบวนการทำงานของระบบ

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการวิจัยโดยแบ่งกระบวนการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

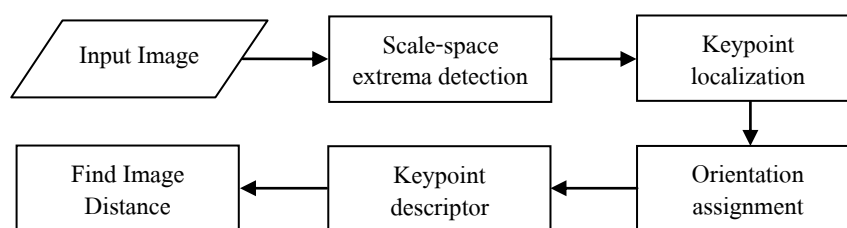
1. กระบวนการหา จุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเส้นด้วยวิธี SIFT ซึ่งมีลำดับการทำงานดังนี้
 - 1.1 นำข้อมูลภาพลายเส้นเข้ามายังระบบ โดยเป็นภาพลายเส้นที่เขียนบนพื้นหลังเป็นสีเรียบ ไม่มี ลวดลาย สีปากกาไม่กลมกลืนกับสีพื้น เช่น สีพื้นสีขาว สีปากกาสีน้ำเงินหรือสีดำ
 - 1.2 การหาปริภูมิค่าในมิติขนาดและระยะทาง (Scale-space extrema detection)
 - 1.3 การกำหนดตำแหน่งจุดสนใจ (Keypoint localization)
 - 1.4 การกำหนดทิศทางของจุดสนใจ (Orientation assignment)

1.5 การสร้างคำอธิบายลักษณะเด่นของภาพ (Keypoint descriptor) แต่ละจุดจะมีการคำนวณหาขนาดและทิศทางของ gradients ของจุดที่อยู่โดยรอบ แล้วหาผลรวมของขนาดและทิศทางของพื้นที่ขนาด 4×4 จุดออกมาได้เป็น descriptor จำนวน 8 ค่า ซึ่งโดยปกติจะใช้พื้นที่ขนาด 16×16 จุด ในการหา descriptor ของจุด 1 จุดซึ่งจะได้ descriptor ทั้งหมด 128 ค่าต่อ 1 จุด

1.6 คำนวณหาระยะห่างของภาพ (Image Distance) โดยใช้วิธีหาระยะทางเฉลี่ยแบบยูคลิด (Average Euclidean distance) ของ จุดสนใจโดยกำหนดให้ A และ B เป็น จุดสนใจของลายเซ็น โดย A มีจำนวนจุดสนใจ เท่ากับ K_a ค่า A_i คือ จุดสนใจลำดับที่ i และ B มีจำนวน จุดสนใจ เท่ากับ K_b ค่า B_j คือ จุดสนใจลำดับที่ j $D(A,B)$ คือค่า Average Euclidean distance จาก จุดสนใจลำดับที่ i ของลายเซ็น A ไปยังจุดสนใจทุกอันในลายเซ็น B $D(A, B)$ คือระยะห่างของภาพลายเซ็น A และลายเซ็น B ดังสมการที่ 8

$$D(A, B) = \frac{1}{K_a} \sum_{i=1}^{K_a} D(A_i, B) \quad (8)$$

1.7 ถ้าระยะห่างของภาพมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด (E) ระบบจะหยุดการทำงาน ถ้าไม่ใช่ระบบจะกลับไปทำในขั้นตอนที่ 1.2 ในรอบถัดไป



ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

2. กระบวนการตรวจสอบและยืนยัน จุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเซ็น โดยการนำจุดสนใจที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาใช้เลือกส่วนของภาพลายเซ็นเพื่อแสดงและให้บุคคลทั่วไปเปรียบเทียบกับลายเซ็นเดิม ว่าเป็นลายเซ็นของใคร เพื่อตรวจสอบและยืนยัน จุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเซ็น

4.2 ข้อมูลการทดสอบ

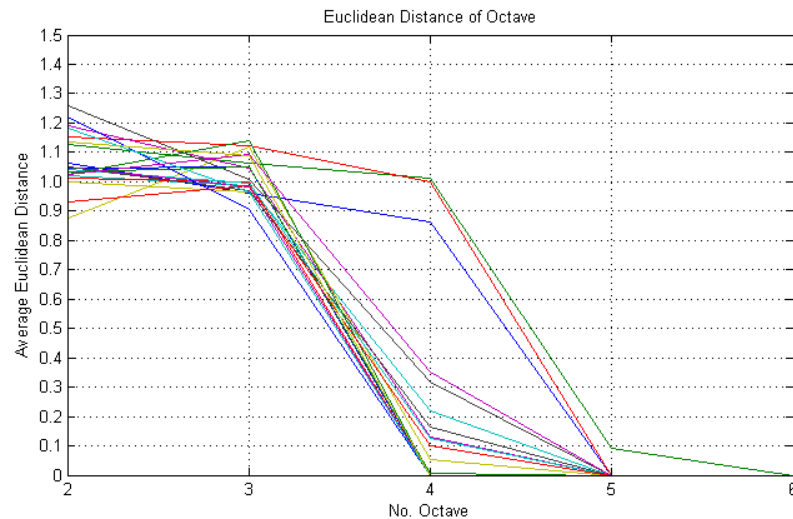
งานวิจัยนี้ใช้ภาพลายเซ็น ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลลายเซ็นจากกลุ่มผู้ทดสอบที่แตกต่างกันจำนวน 20 คน โดยจะเก็บจำนวนลายเซ็นคนละ 10 ลายเซ็น รวมจำนวน 200 ลายเซ็น สำหรับกระบวนการหาจุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเซ็นด้วยวิธี SIFT และใช้ตัวอย่างภาพลายเซ็นสำหรับกระบวนการตรวจสอบและยืนยันจุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเซ็นประกอบด้วยภาพส่วนของลายเซ็นคนละ 2 ลายเซ็นรวม 40 ลายเซ็นทดสอบ โดยบุคคลทั่วไปจำนวน 10 คน

5. ผลการทดลอง

5.1 กระบวนการหาจุดสนใจภาพลายเซ็น

จากการทดสอบภาพลายเซ็นจากบุคคลทดสอบ 20 คนๆ ละ 10 ลายเซ็นรวม 200 ลายเซ็น เพื่อหาค่าระยะทางยูคลิดเฉลี่ยระหว่าง จุดสนใจของภาพลายเซ็นในแต่ละรอบแสดงดังภาพที่ 5 โดยผลการทดลองพบว่าค่า

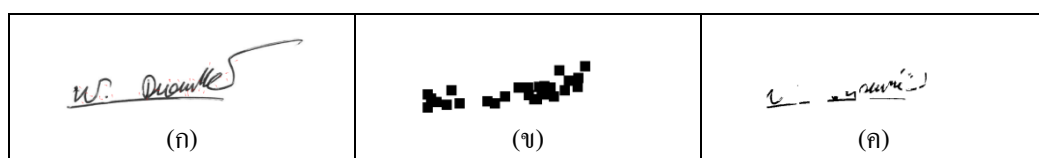
ระยะทางยูคลิดเฉลี่ยจะมีอัตราคณ้อยลงมากในรอบที่ 4 เป็นส่วนใหญ่โดยมีเพียง 3 ลายเซ็นที่มีอัตราคณ้อยลงมากในรอบที่ 5 อันเนื่องมาจากลายเซ็นทั้ง 3 เป็นลายเซ็นที่มีจำนวนจุดสนใจเฉลี่ยมากกว่าภาพลายเซ็นอื่นๆ และค่าจุดสนใจแต่ละค่ามีขนาดแตกต่างกันมากกว่าภาพลายเซ็นอื่นๆ



ภาพที่ 5 แสดงค่าระยะยูคลิดระหว่าง จุดสนใจของภาพลายเซ็นในแต่ละรอบ

5.2 กระบวนการตรวจสอบและยืนยัน จุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเซ็น

การตรวจสอบและยืนยันจุดสนใจที่เหมาะสมของภาพลายเซ็น จะใช้จุดสนใจที่ได้จากอัลกอริทึม SIFT รอบที่ 4 ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 6 (ก) เพื่อนำจุดสนใจไปกำหนดตำแหน่งในภาพลายเซ็นเพื่อเลือกส่วนของภาพลายเซ็นเพื่อเปรียบเทียบกับภาพลายเซ็นสมบูรณ์โดยบุคคลทั่วไปจำนวน 10 คน แสดงดังภาพที่ 6 (ข) และ (ค) ได้ผลของการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 1 โดยมีภาพลายเซ็นที่มีผลการเปรียบเทียบผิดพลาดคือ ภาพลายเซ็น *W. Duanka* กับภาพลายเซ็น *W. Duanka* เนื่องจากภาพส่วนของลายเซ็นมีความคล้ายคลึงกันหลายส่วน และอีกหนึ่งสาเหตุคือภาพลายเซ็น *W. Duanka* และภาพลายเซ็น *W. Duanka* มีภาพส่วนของลายเซ็นที่มีรายละเอียดน้อยทำให้ผู้ทดสอบเปรียบเทียบภาพลายเซ็นผิดพลาด

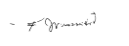
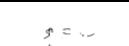
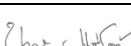
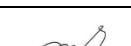
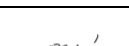
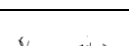
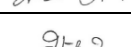
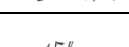


ภาพที่ 6 แสดงการกำหนดจุดสนใจและการเลือกส่วนของภาพลายเซ็น

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการเปรียบเทียบส่วนของลายเซ็นกับลายเซ็นที่สมบูรณ์ พบว่าลายเซ็นส่วนใหญ่ผู้ทดสอบสามารถตอบได้ถูกต้อง มีเพียง 4 ลายเซ็นที่มีการตอบผิดพลาด โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 97.75

ตารางที่ 1 แสดงผลของการเปรียบเทียบส่วนของภาพลายเซ็นจากจุดสนใจรอบที่ 4 กับภาพลายเซ็นสมบูรณ์

ภาพส่วนของลายเซ็น					ภาพส่วนของลายเซ็น				
ภาพลายเซ็น ทดสอบ	ส่วนของภาพ ลายเซ็นทดสอบ	ทดสอบลายเซ็นละ 2 ภาพ			ภาพลายเซ็น ทดสอบ	ส่วนของภาพ ลายเซ็นทดสอบ	ทดสอบลายเซ็นละ 2 ภาพ		
		ถูก ต้อง	ผิด พลาด	% ความ ถูกต้อง			ถูก ต้อง	ผิด พลาด	% ความ ถูกต้อง
		20	0	100%			20	0	100%
		20	0	100%			20	0	100%
		20	0	100%			18	2	90%
		20	0	100%			20	0	100%
		18	2	90%			17	3	85%
		20	0	100%			20	0	100%
		20	0	100%			20	0	100%
		20	0	100%			20	0	100%
		18	2	90%			20	0	100%
		20	0	100%			20	0	100%

7. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ มั่งสิงห์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.ธนา สุขวารี กรรมการวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สัลยุทธ์ สว่างวรรณ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณทั้งสามท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ช่วยให้คำแนะนำดีๆ และช่วยทดสอบเปรียบเทียบภาพลายเซ็น จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง

คุณงามความดีอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง และคณาจารย์ผู้ประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนทุกๆ ท่านที่ให้ความสนใจช่วยเหลือจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

8. รายการอ้างอิง

D. K. Bhole and S. Velankar, 2010. "Comparison of Offline Signature Verification Using Graph Matching Based Approach and Cross Validation Approach." **International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET 2010): 672-673.**

- D. Lowe. 2004. "Distinctive Image features from Scale-invariant Keypoints." **International Journal of Computer Vision**. 60, 2: 91-110.
- Emre Özgündüz, Tülin Şentürk and M. ElifKarslıgil. 2005. "Off-line Signature Verification and Recognition by Support Vector Machine." **13th European Signal Processing Conference**. Retrieved August 1, 2014, from <http://www.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/Eusipco2005/deferent/papers/cr2010.pdf>
- P. M. Mhatre and M. Maniroja. 2011. "Offline Signature Verification Based On Discrete Cosine Transform." **International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET 2011)**: 55-58.
- P. M. Mhatre and M. Maniroja. 2011. "Offline Signature Verification Based on Statistical Features." **International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET 2011)**: 59-62.

การพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขาม

DEVELOPMENT OF TAMARIND SEED SHELTER.

วิโรจน์ ตรีมงคล

ดุสิต ชลสิทธิ์

พินัย ทองสวัสดิวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail : wirojtree@msn.com

บทคัดย่อ

มะขามเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของไทยปลูกได้ทั่วไปเกือบทุกพื้นที่ส่วนที่เหลือจากการแปรรูปคือเมล็ดมะขามซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย การกะเทาะเปลือกยังไม่มีผู้สนใจศึกษามากเท่าที่ควรและผลที่ได้ยังได้ผลดีทำที่ควร ในงานวิจัยนี้มีแผนการดำเนินงานศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดมะขาม สร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามทั้งกะเทาะแบบตีและแบบสีกด้วยแกนเหล็ก และทดสอบการทำงาน โดยใช้เมล็ดมะขามชนิดเปรี้ยวคั่วที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที โดยการเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องกะเทาะแบบตีที่ 580, 725, 870, 987 รอบต่อนาทีและการกะเทาะแบบสีกด้วยแกนเหล็กที่ความเร็วที่ 100, 200, 300 รอบต่อนาที และใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 250, 400, 500 กรัม เพื่อเพิ่มแรงดันในห้องสีจากการศึกษาพบว่า ความเร็วรอบของเครื่องกะเทาะมีผลกับประสิทธิภาพการกะเทาะ และเครื่องกะเทาะแบบตีที่ความเร็วรอบ 870 รอบต่อนาที มีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะ 56% ไม่กะเทาะ 23% ลอดตะแกรง 21% และความเร็วรอบของเครื่องกะเทาะแบบสีกที่ 200 รอบต่อนาที การกะเทาะ 57% ไม่กะเทาะ 34% ลอดตะแกรง 9% โดยใช้น้ำหนักถ่วงที่ 250 กรัม จากผลการทดลองนี้คาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบเครื่องกะเทาะในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

คำหลัก : เมล็ดมะขาม เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขาม กะเทาะแบบตี กะเทาะแบบสีกด้วยแกนเหล็ก

ABSTRACT

Tamarind is one of Thai economic crops. The planting of general almost every area the rest of the processing is tamarind seed, which can be useful in many ways. This research plans operations. Study on the physical properties of tamarind seeds create crackers tamarind seed and shelling a threshing and Huller and test work. Using the use of tamarind seed type sour roasted at 140 degree celsius for 10 minutes. By changing the speed of a threshing in the 580, 725, 870, 987 RPM. The cracking and Huller of speed 300, 200, 100 RPM and the pendulum, size 250, 400, 500 Gram, to increase the pressure Huller machine. The study found that speed of the crackers will affect the efficiency and cracking. Crackers were threshing and speed 870 RPM, percentage 56% crackers 23% is not always 21% sieve. The speed of the crackers like color 200 RPM. cracking 51% do

not crack 40% time grating 9% using weights. 250 grams. The results from this experiment will be useful in designing the crackers in the industry level.

KEYWORDS : Tamarind Seed, Tamarind Seed Seller, Shelling, Huller.

1. บทนำ

มะขามเป็นพืชที่มีความสำคัญของประเทศไทยในปี 2556 มีมูลค่าการส่งออกกว่า 849 ล้านบาท (องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร) ได้มีการสำรวจในปี 2547 มีพื้นที่การเพาะปลูกจำนวน 571,491 ไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร) ส่วนต่างๆ ของมะขามได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์จำนวนมากแต่ส่วนที่เป็นเมล็ดมะขามถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนที่ถูกคัดทิ้งเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามและเมล็ดด้านใน ซึ่งมีการนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อสกัดสารจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (วันแข็ง และคณะ 2554) อยู่ในปริมาณสูงนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์เสริมอาหารต้านอนุมูลอิสระชนิดอัดเม็ดและแป้งเมล็ดมะขามแปรรูป เพื่อป้องกันให้กับอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิ เท็กซ์ไทล์ กระดาษ อาหาร มีงานวิจัยเกี่ยวกับแป้งเมล็ดมะขามนำมาผ่านกระบวนการบดบดการให้แป้งนำมาใช้เป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้มเพื่อลดความขุ่นของน้ำ (ชัยนุวัฒน์ วัชรพันธุ์อมต.2538) และแป้งเมล็ดมะขามยังเป็นส่วนผสมในยาจะเห็นได้ว่าเมล็ดของมะขามสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมายขณะที่โรงงานผลิตแป้งเมล็ดมะขามขึ้นต้นยังมีเพียงโรงงานเพียงแห่งเดียว (หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ 2555) เรื่องของตลาดมีแนวโน้มที่สดใสมาก ส่วนปัญหาของการกะเทาะเปลือกยังไม่ มีผู้สนใจศึกษามากเท่าที่ควรและผลที่ได้ยังได้ผลดีเท่าที่ควรซึ่งขั้นตอนดังกล่าวมีความสำคัญมากที่จะนำไปสู่การผลิตแป้งเมล็ดมะขามที่ดี

ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามโดยใช้ระบบการกะเทาะแบบตีร่วมกับกะเทาะแบบสีกด้วยแกนเหล็ก เพื่อให้สามารถแยกเปลือกสีน้ำตาลของเมล็ดมะขามออกจากเนื้อในของเมล็ดมะขามได้มากที่สุด ลดการสูญเสียของเมล็ดมะขาม

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

ออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามโดยใช้ระบบกะเทาะแบบตีร่วมกับแบบสีกด้วยแกนเหล็ก และศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

- 2.1 น้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่ใช้ในการกะเทาะเปลือกเมล็ดมะขามระบบสีกด้วยแกนเหล็ก
- 2.2 สมรรถนะของเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบตี
- 2.3 สมรรถนะของเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบสีกด้วยแกนเหล็ก

3. ขอบเขตงานวิจัย

- 3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบตี
- 3.2 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 4 ระดับใช้เมล็ดครั้งละ 500 กรัม
- 3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบสีกด้วยแกนเหล็ก

3.4 ทดสอบที่ความเร็วรอบ 3 ระดับถ่วงน้ำหนัก 3 ระดับ ใช้เมล็ดครั้งละ 2000 กรัม

3.3 ทดสอบโดยใช้เมล็ดมะขามเปรี้ยวผ่านการคั่วที่อุณหภูมิ 140 เซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

เมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นมะขามพันธุ์เปรี้ยวจากจังหวัดชัยนาท ซึ่งเป็นการเก็บผลผลิตในช่วงเดือน เมษายน 2557 ล้างทำความสะอาดตากแดด และทำการคั่วที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที (Hindun Pulungan 2001) และทำการวัดขนาด ชั่งน้ำหนักหาความชื้น โดยใช้มาตรฐาน ASAE S410.1DEC97 หาแรงกดที่ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมะขามแตกด้วยเครื่องทดสอบแรงกดโดยการสร้างชุดจับยึดเมล็ดมะขามและในการทดลองต้องวิเคราะห์แรงกดทั้งด้านกว้างยาวและหนาของเมล็ดมะขาม

เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบดี

เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบดีที่ใช้ในการทดสอบออกแบบให้มีใบดี ขนาด 60x225x1 มิลลิเมตร และเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จำนวน 3 ใบ ถึงรับเมล็ดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร พร้อมเจาะรูรับเมล็ดมะขามจากด้านบน และเจาะรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ด้านล่างส่วนต้นกำลังที่ในการทดสอบใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด ½ HP 380V 3P พร้อมอินเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับปรับความเร็วรอบโดยการทดสอบเริ่มที่การปรับความเร็วรอบที่ 580,725,870,987 รอบต่อนาที โดยทดสอบ 3 ซ้ำกะเทาะครั้งละ 500 กรัม โดยการป้อนเมล็ดมะขามผ่าน Hoper ที่ติดตั้งชุดป้อนและติดอยู่ด้านบนของห้องดี และทำการเก็บตัวอย่างทำการคัดแยกเมล็ดที่ผ่านการกะเทาะและไม่กะเทาะทำการชั่งน้ำหนัก คำนวณหา เปอร์เซ็นต์ต่างๆ



รูปที่ 1 เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบดี

เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบดี

เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบดีที่ใช้ในการทดสอบโดยออกแบบให้มีแกนสี่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ใช้ครีบริบแบบตรงขนาดกว้าง 12 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ตะแกรงสี

ออกแบบและทำการขึ้นรูปให้มีลักษณะเป็นรูปหกเหลี่ยมให้มีขนาด 75 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตรและใช้ค้อนน้ำหนักขนาด 250, 400, 500 กรัม เพื่อเพิ่มแรงดันในห้องสีโดยการทดสอบเริ่มที่การปรับความเร็วรอบที่ 100, 200, 300 รอบต่อนาที โดยการป้อนเมล็ดมะขามผ่าน Hoper ติดอยู่ด้านบนของห้องสี และทำการเก็บตัวอย่างทำการคัดแยกเมล็ดที่ผ่านการกะเทาะและไม่กะเทาะทำการชั่งน้ำหนัก คำนวณหา เปอร์เซ็นต์ต่างๆทดสอบ 3 ซ้ำโดยใช้เมล็ดมะขามตัวอย่างระหว่างการกะเทาะครั้งละ 2 กิโลกรัม



รูปที่ 2 เครื่องกะเทาะเมล็ดมะขามแบบสี

5. ผลการทดลอง

ผลการทดลอง พบว่าน้ำหนักโดยเฉลี่ยของเมล็ดมะขามเท่ากับ 0.93 กรัม มีความกว้างโดยเฉลี่ย 11.8 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 15.94 มิลลิเมตร ความหนาเฉลี่ย 6.45 มิลลิเมตร เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดมะขามก่อนทำการคั่วเท่ากับ 11.67 เปอร์เซ็นต์ หลังจากการคั่วเมล็ดมะขามเป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 8.35 เปอร์เซ็นต์ แรงที่ทำให้เมล็ดมะขามแตกออกคือ 156 N

การกะเทาะแบบสี 580 RPM

ตัวอย่างที่	กะเทาะ(กรัม)	ไม่กะเทาะ(กรัม)	รอตตะแกรง(กรัม)	รวม(กรัม)	%กะเทาะ	%ไม่กะเทาะ	%รอตตะแกรง
1	206.7	121	75.1	402.8	51%	30%	19%
2	166.4	154.6	68	389	43%	40%	17%
3	200.9	123.9	75.8	400.6	50%	31%	19%
เฉลี่ย					48%	34%	18%

การกะเทาะแบบสี 725 RPM

ตัวอย่างที่	กะเทาะ(กรัม)	ไม่กะเทาะ(กรัม)	รอตตะแกรง(กรัม)	รวม(กรัม)	%กะเทาะ	%ไม่กะเทาะ	%รอตตะแกรง
1	158.5	217	37.6	413.1	38%	53%	9%
2	134.7	180	98	412.7	33%	44%	24%
3	91	213.9	42.3	347.2	26%	62%	12%
เฉลี่ย					32%	53%	15%

การกะเทาะแบบตี 870 RPM							
ตัวอย่างที่	กะเทาะ(กรัม)	ไม่กะเทาะ(กรัม)	รอตตะแกรง(กรัม)	รวม(กรัม)	%กะเทาะ	%ไม่กะเทาะ	%รอตตะแกรง
1	207.7	50	92.8	350.5	59%	14%	26%
2	200.3	41.5	58.3	300.1	67%	14%	19%
3	146.3	142.6	57.4	346.3	42%	41%	17%
เฉลี่ย					56%	23%	21%

การกะเทาะแบบตี 987 RPM							
ตัวอย่างที่	กะเทาะ(กรัม)	ไม่กะเทาะ(กรัม)	รอตตะแกรง(กรัม)	รวม(กรัม)	%กะเทาะ	%ไม่กะเทาะ	%รอตตะแกรง
1	440.1	225	252.1	917.2	48%	25%	27%
2	494.1	134.7	253	881.8	56%	15%	29%
3	487	225.6	223.2	935.8	52%	24%	24%
เฉลี่ย					52%	21%	27%

การกะเทาะแบบสี ถ่วงน้ำหนักที่ 250 กรัม							
รอบ	กะเทาะ(กรัม)	ไม่กะเทาะ(กรัม)	รอตตะแกรง(กรัม)	รวม(กรัม)	%กะเทาะ	%ไม่กะเทาะ	%รอตตะแกรง
100	111.2	142.5	26.2	279.9	40%	51%	9%
200	188.4	113	28.4	329.8	57%	34%	9%
300	223.8	135.5	30.8	390.1	57%	35%	8%
					51%	40%	9%

การกะเทาะแบบสี ถ่วงน้ำหนักที่ 400 กรัม							
รอบ	กะเทาะ	ไม่กะเทาะ	รอตตะแกรง	รวม	%กะเทาะ	%ไม่กะเทาะ	%รอตตะแกรง
300	168	18.9	107.6	294.5	57%	6%	37%

การกะเทาะแบบสี ถ่วงน้ำหนักที่ 400 กรัม ใช้ความเร็วรอบที่ 100,200 RPM และการกะเทาะแบบสี ถ่วงน้ำหนักที่ 400 กรัม ใช้ความเร็วรอบที่ 100,200,300 RPM ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้เพราะทดสอบเครื่องเป็นเวลา 40 นาที เมล็ดมะขามไม่สามารถดันออกจากห้องสีได้ส่วนใหญ่เมล็ดจะป่นและรวมอยู่กับเปลือกซึ่งทำการแยกออกจากกันเป็นกระบวนการที่ยุ่งยาก

6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปได้ว่า ความเร็วรอบของเครื่องกะเทาะแบบตี (รูปที่ 1) 870 RPM ความเร็วรอบมีเปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่ 56% ไม่กะเทาะ 23% รอตตะแกรง 21% และความเร็วรอบของเครื่องกะเทาะแบบสีที่ 200 RPM ถ่วงน้ำหนักที่ 250 กรัม (รูปที่ 2) การกะเทาะ 57% ไม่กะเทาะ 34% รอตตะแกรง 9% เป็นความเร็วรอบที่ดีที่สุดเพราะจุดดังกล่าวมี เปอร์เซ็นต์การกะเทาะที่สูงสุด เปอร์เซ็นต์การไม่กะเทาะต่ำสุด และ เปอร์เซ็นต์เมล็ดมะขามที่รอตตะแกรงต่ำ

ความเร็วรอบที่ต่างไปจากที่เคยทดลอง น้ำหนักคั่ว ถั่ว อุ่นหมักที่ให้ในการคั่ว องศาเย็งของนมใบดี ปัจจัยเหล่านี้ล้วนเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและจากการทดลองควรออกแบบให้เครื่องกะเทาะแบบดีและแบบสี่ ด้วยแกนเหล็กสามารถทำงานร่วมกันหรือต่อเนื่องกันอาจส่งผลทำให้การกะเทาะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวินุส เทเพนทร์ กลุ่มวิจัยวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนสนับสนุนอุปกรณ์ และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย

8. รายการอ้างอิง

องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร มะขาม <http://www.mof.or.th/web/agriculture>.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร

วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน ดวงฤดี เชิดวงศ์เจริญสุข. (2554). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากเปลือกหุ้มเมล็ด มะขามหวานและมะขามเปรี้ยว.

ชัยนวัฒน์ วัชรพันธุ์อมต. (2538). การศึกษาการใช้ผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นสารช่วยสร้างตะกอนร่วมกับสารส้ม เพื่อลดความขุ่นของน้ำ. มหาวิทยาลัยมหิดล.

แป้งเม็ดมะขาม หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจฉบับที่ 2,705 15-18 มกราคม พ.ศ. 2555 <http://www.thanonline.com>

ASAE STANDARDS (1998) ASAE S410.1 DEC97 Moisture Measurement—Peanuts

M. Hindun Pulungan, Sukardi, E.F. Sri Maryani, Nur Atifah and Sucipto 2001 TAMARIND KERNEL

POWDER (Tamarindus Indica) PROCESSING (REVIEWS ON ROASTING TEMPERATURE AND ROASTING DURATION)

เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นในแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัด
AN ECO-ELECTRICAL ENERGY GENERATOR FROM WAVE ENERGY
IN CHO PHRAYA RIVER

มูฮัมหมัด ทรงชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: muhammat.so@spu.ac.th

เอกพล เตี้ยขัว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: ekkaponspu@hotmail.com

ภัทรพล เลิศพัชรกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: blues_452@hotmail.com

มนต์ชัย พฤกษ์วิลเลต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: pmonchai@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยเพื่อการออกแบบและสร้างต้นแบบรวมถึงการทดสอบประสิทธิภาพสิ่งประดิษฐ์ที่จะนำพลังงานคลื่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยต้นแบบได้ถูกติดตั้งและทดสอบบริเวณชายฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา ณ ทำน้ำพิบูลย์สงคราม อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี ในการออกแบบเน้นความไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาง่าย ใช้วัสดุในประเทศและต้นทุนต่ำ มีศักในการผลิตกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 100 วัตต์ ผลิตกระแสไฟฟ้าจัดเก็บในแบตเตอรี่เพื่อนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้สำหรับระบบแสงสว่าง นอกจากนั้นได้มีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยและระยะเวลาคืนทุน ผลการทดสอบพบว่าเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 61.371 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก: พลังงานคลื่น เครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่น พลังงานแบบยั่งยืน แม่น้ำเจ้าพระยา พลังงานหมุนเวียน

ABSTRACT

The investigation was carried out to design, construct, and test an eco-electrical energy generator from river wave energy in Cho Phraya river for electricity production for stand-alone lighting application. The

prototype was constructed on a coastal river at Piboonsongkram Harbor, Muang District, Nonthaburi Province. The design is focused on the simplicity of the system using of domestic materials and parts and the ease of use and maintenance. The maximum capacity designed to be 100 W and using a battery as power storage. The unit cost of electrical energy and the payback period of the system were also analyzed for economical feasibility analysis. The results showed that the maximum efficiency of An eco-electrical energy generator from wave energy in Cho Phraya river is 61.371 %.

KEYWORDS: Wave energy, Device to convert wave energy, Sustainable energy, Chao Phraya River, Renewable energy

1. บทนำ

วิกฤติการณ์ด้านพลังงานได้ก่อตัว และทวีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้น ทั้งจากการขาดแคลนแหล่งพลังงาน และผลกระทบของการใช้พลังงานที่มีต่อสภาวะสิ่งแวดล้อม ทุกภาคส่วนของประเทศจึงได้ตระหนักถึงวิกฤติการณ์นี้ และพยายามคิดค้นเพื่อหาทางออก หนทางหนึ่งในการแก้ไขวิกฤติการณ์ดังกล่าวคือ การใช้พลังงานทดแทน (Alternative Energy) พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ซึ่งโดยทั่วไปหมายถึงพลังงานที่มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและสามารถมีทดแทนได้อย่างไม่จำกัด (เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานหลักในปัจจุบัน เช่น น้ำมันหรือถ่านหินซึ่งมีเฉพาะที่ และรวมถึงต้นทุนที่สูงขึ้นเรื่อยๆ ในการสำรวจและขุดเจาะแหล่งใหม่ๆ) ตัวอย่างพลังงานทดแทนที่สำคัญ เช่น แสงอาทิตย์ ลม คลื่นทะเล กระแสน้ำ ความร้อนจากใต้ผิวโลก พลังงานจากกระบวนการชีวภาพ เช่น บ่อก๊าซชีวภาพ

แม่น้ำ ทะเล หรือมหาสมุทรเป็นแหล่งพลังงานหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้จำนวนมหาศาล หลายประเทศทั่วโลกที่มีแม่น้ำไหลผ่าน หรือมีอาณาเขตที่ติดต่อกับทางทะเล และมหาสมุทร ต่างพยายามหาวิธีการต่างๆ ที่จะนำพลังงานนี้มาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อประโยชน์ด้านพลังงาน จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1950 อังกฤษคือชาติแรกที่ได้อิทธิพลที่จะนำพลังงานคลื่นจากชายฝั่งทะเลของประเทศมอริเชียส ในทวีปแอฟริกา แต่กลับล้มเลิกไปเนื่องจากไม่มีความพร้อมด้านเทคโนโลยีจนกระทั่งเมื่อปี ค.ศ. 2000 จีนตนการดังกล่าวได้กลายเป็นความจริง เมื่อบริษัทเวฟเจน (Wavegen) ผู้ประกอบการด้านพลังงานทดแทนร่วมกับมหาวิทยาลัยควีนส์ เบลดฟาสต์ (Queen's University Belfast) ในประเทศไอร์แลนด์เหนือได้ร่วมทำการวิจัย ศึกษา และรวบรวมข้อมูลการพัฒนาพลังงานจากคลื่น เป็นเวลากว่า 30 ปี จนสามารถติดตั้งสถานีผลิตไฟฟ้าจากพลังงานคลื่นที่ชายฝั่งอิสเลย์ ประเทศสกอตแลนด์ ได้เป็นผลสำเร็จ และเชื่อมต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าของสหราชอาณาจักร เป็นที่เรียบร้อยแล้ว นับเป็นสถานีผลิตไฟฟ้าพลังงานคลื่นเชิงพาณิชย์แห่งแรกของโลก จากความสำเร็จดังกล่าวเป็นผลให้หลายประเทศทั่วโลกต่างให้ความสำคัญในการนำพลังงานคลื่นมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะในด้านพลังงาน

ในช่วงปี ค.ศ.2006 (J.P. Kofoed, P. Frigaard, M. Kramer, 2006) [1] นักวิจัยจากแผนกวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัย Aalborg ประเทศเดนมาร์ก ได้ทำการวิจัยและพัฒนาเครื่องเปลี่ยนคลื่นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบประกอบไปด้วย Wave Dragon Wave Star และ Slot-cone Generator ซึ่งเครื่องทั้ง 3 รูปแบบ

จะมีลักษณะการทำงานและพื้นที่การติดตั้งที่แตกต่างกันออกไป เครื่องทั้ง 3 รูปแบบที่ได้กล่าวนี้ ยังคงเป็นแค่แบบทดลองเท่านั้นไม่ถูกนำมาใช้งานจริง ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ.2008 (Leão Rodrigues, 2008) [2] นักวิจัยชาวโปรตุเกส แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยโนวาแห่งเมืองลิสบอน ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับพลังงานคลื่นโดยทำการศึกษาเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าชนิดต่างๆ เพื่อนำมาหาจุดเด่นและจุดด้อยของเครื่องเปลี่ยนพลังงาน เพื่อที่จะให้ได้ระบบเปลี่ยนพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด มาทำการติดตั้งที่บริเวณชายฝั่งประเทศโปรตุเกสเป็นครั้งแรก ซึ่งแบบที่ได้ทำการวิจัยว่าเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานจริงที่สุดคือ แบบ Pelamis ซึ่งเป็นแบบที่ถูกออกแบบโดยนักประดิษฐ์ชาวสกอตแลนด์ ต่อมาในช่วงปี ค.ศ.2009 (Zafer Defne, Kevin A. Haas, Hermann M. Fritz, 2009) [3] ได้มีการวิจัยสำรวจ และเก็บข้อมูล ในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งตะวันออกเฉียงใต้ของอเมริกา ซึ่งติดกับมหาสมุทรแอตแลนติก (Atlantic) โดยการเก็บข้อมูลจากสถานีวัดคลื่นกลางทะเล ซึ่งจะเก็บค่าความสูง และคาบของคลื่นในมหาสมุทร เพื่อนำค่าต่างๆ ที่ได้ มาคำนวณหาค่าพลังงานของคลื่นในแต่ละตำแหน่งตลอดรอบชายฝั่ง และระยะห่างออกไปจากชายฝั่งเป็นระยะ 50 กิโลเมตร จากนั้นจึงนำค่าพลังงานคลื่น ณ ตำแหน่งต่างๆ ที่เก็บข้อมูลได้ มาพล็อต เป็นเส้นเส้น contour line แสดงระดับพลังงานคลื่นในช่วงต่างๆ รอบชายฝั่งดังกล่าว เพื่อนำไปเก็บเป็นฐานข้อมูล เกี่ยวกับพลังงานคลื่นในตำแหน่งภูมิประเทศที่วิจัยต่อไป และในทำนองเดียวกัน ในปี ค.ศ. 2010 ที่ประเทศมาเลเซียก็ได้มีการวิจัย และเก็บข้อมูลพลังงานคลื่นในบริเวณชายฝั่งคาบสมุทร (Peninsular) ซึ่งติดกับทะเลจีนใต้ (Muzathik AM, Wan Nik WB, Ibrahim MZ, Samo KB, 2010) [4] เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นฐานข้อมูลพลังงานคลื่นในตำแหน่งที่วิจัยเช่นเดียวกันกับอเมริกา และต่อมาในปีเดียวกัน (Gunnar Mørk, Stephen Barstow, Alina Kabuth, M.Teresa Pontes, 2010) [5] ได้มีการนำเสนอข้อมูลจากฐานข้อมูลต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องวัดความสูงคลื่นจากดาวเทียม และสถานีวิจัยหุ่นลอยน้ำหลายแห่ง มาประมวลผลพลังงานคลื่นบริเวณชายฝั่งรอบโลกโดยรวม ซึ่งยังไม่ละเอียดมาเท่าที่ควร ถัดมาในปี ค.ศ. 2011 ได้มีการพัฒนาสูตรในการคำนวณหาพลังงานคลื่นในทางฟิสิกส์ เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาพลังงานคลื่นได้อย่างแม่นยำมากขึ้น โดยนักวิจัยแผนกเครื่องกล มหาวิทยาลัย Islamic Azad ประเทศอิหร่าน (Amir Vosough, 2011) [6] และในปีเดียวกันนั้น (Francis S. Fernandez, Alfonso Parra, Bader Ale, Sabri Tosunugu, 2011) [7] ได้มีแนวคิดที่จะนำพลังงานคลื่นมาใช้โดยได้ออกแบบลักษณะหุ่นรับพลังงานคลื่นขนาดเล็กให้เหมาะสมกับขนาดของคลื่นในบริเวณชายฝั่งทะเลชายฝั่งตะวันออกของประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อไม่นานมานี้ในประเทศไทยก็ได้ (Sakaran Suksom, 2012) [8] เริ่มมีการศึกษาเรื่องพลังงานคลื่นเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยการนำบทความงานวิจัยต่างประเทศมาศึกษา และลองประยุกต์ใช้ในประเทศไทย ในบริเวณพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทยโดยนำมาศึกษาวิจัย และคำนวณความเป็นไปได้ในทางทฤษฎีเท่านั้น โดยยังไม่มีมีการนำเครื่องเปลี่ยนพลังงานคลื่นในทะเลให้เป็นคลื่นพลังงานไฟฟ้ามาใช้ทดลองอย่างจริงจัง

จากการศึกษารวบรวมงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ายังไม่มีการศึกษาและสำรวจการนำคลื่นบนแม่น้ำมาผลิตกระแสไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะกล่าวถึงรูปแบบเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการนำคลื่นทะเลหรือมหาสมุทรเปลี่ยนจากพลังงานคลื่นเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่นำพลังงานคลื่นในแม่น้ำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบประหยัดและทดสอบประสิทธิภาพของ

สิ่งประดิษฐ์ที่นำพลังคลื่นน้ำผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกแบบสร้าง นอกจากนั้นได้มีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ได้แก่ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย และระยะเวลาคืนทุน

2. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

ค่าพลังงานของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น (P_{wave}) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร (W/m) ซึ่งเกิดจากผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของคลื่น สามารถหาได้จาก

$$P_{wave} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{64 \pi} = 478.64 H^2 T \quad (\text{W/m}) \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าประมาณ $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ และ H คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น (m) T คือ คาบ ซึ่งเป็นส่วนกลับกับความถี่ (s) ดังนั้น พลังงานของคลื่นหน่วยเป็นกิโลวัตต์ ที่มีความยาวคลื่น (L) เมตร จะมีสมการที่มีค่าประมาณเป็นดังสมการที่ 2

$$P_{wave} \approx 478.64 H^2 T L \quad (\text{W}) \quad (2)$$

หากสมมติว่าคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น $H = 0.25 \text{ m}$ ในเวลาของคาบ $T = 1 \text{ s}$ และบนหน้าคลื่นที่มีความยาว $L = 2 \text{ m}$ จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าตามสมการที่ (2) ได้ 60 วัตต์ และจากทฤษฎีดังกล่าว กล่าวได้ว่าหากคลื่นที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งยาว 100 กิโลเมตร อาจสามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้ถึงประมาณ 2 เมกะวัตต์ โดยเป็นการประเมินค่าพลังงานที่จะได้จากคลื่นเฉพาะแถบริมชายฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 3.1. เพื่อสร้างสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบที่นำพลังคลื่นน้ำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบประหยัด
- 3.2. เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของสิ่งประดิษฐ์ต้นแบบที่ได้ออกแบบสร้าง
- 3.3. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

4. วิธีการดำเนินวิจัย

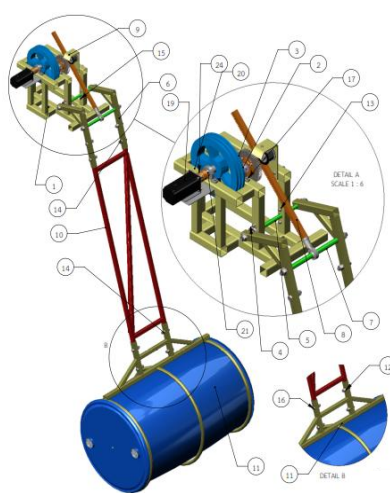
4.1 การประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำบนแม่น้ำเจ้าพระยา

วิธีการสำรวจโดยใช้เครื่องมือและวิธีการวัดอย่างง่ายเพื่อประเมินศักยภาพพลังงานจากคลื่นน้ำบนแม่น้ำเจ้าพระยา จำนวน 3 จุด คือ ท่าเรือพระราม 7 ท่าเรือวังหลัง และท่าเรือวัดวรจรระยาวาส ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลในเบื้องต้นพบว่าคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาเกิดขึ้นได้สองกรณีคือคลื่นที่เกิดจากการสรรจรของเรือ ความสูงของคลื่นอยู่ในช่วง 5-26 เซนติเมตร คาบเฉลี่ย 1.92 วินาที และคลื่นที่เกิดขึ้นในช่วงที่ไม่มีเรือสรรจร ความสูงของคลื่นอยู่ในช่วง 2-8 เซนติเมตร คาบเฉลี่ย 0.98 วินาที โดยคลื่นที่เกิดในช่วงเวลานั้นจะเป็นคลื่นที่เกิดจากลม ซึ่งความสูงคลื่นจะไม่สูงมากเมื่อเทียบกับช่วงที่มีเรือสรรจรผ่าน เมื่อประเมินพลังงานต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่นตามสมการที่ (1) เทียบกับความสูงคลื่นเฉลี่ยและคาบเฉลี่ยของทั้งสองกรณีจากงานวิจัยพบว่าความสูงเฉลี่ยของ

คลื่นเท่ากับ 7.1 เซนติเมตร และคาบเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยใน 1 วันได้เท่ากับ 2.9 วัตต์ต่อเมตร และเมื่อพิจารณาตลอดความยาวแม่น้ำ 15 กิโลเมตร จะได้ศักยภาพพลังงานเท่ากับ 84.8 กิโลวัตต์ ดังนั้นใน 1 ปีจะมีค่าพลังงานเท่ากับ 402,243 กิโลวัตต์ชั่วโมง

4.2 อุปกรณ์และการทดลอง

เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นในแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดในงานวิจัยนี้เป็นแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed) ที่บริเวณชายฝั่งแม่น้ำ ระบบที่ออกแบบเน้นความเรียบง่ายในการสร้างมีกลไกไม่สลับซับซ้อนใช้วัสดุที่มีอยู่สามารถหาได้ในประเทศราคาไม่สูงมากและสามารถบำรุงรักษาดูแลได้สะดวก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชนิดพิเศษที่รับพลังงานคลื่นน้ำตรงผ่านกลไกไปขับ Generator (ประยุกต์ใช้ DC Servo Motor) มีฟังก์ชันในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่เกิน 100 วัตต์ ที่ความสูงคลื่นไม่เกิน 30 เซนติเมตร จากการประเมินพลังงานในขั้นตอนพลังงานจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยามีศักยภาพในการนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าได้แต่ยังมีค่าที่ไม่มากนักเมื่อเทียบกับพลังงานทดแทนอื่นๆ ในการออกแบบจึงได้มีแนวคิดออกแบบระบบกลไกเพื่อทดกำลังให้สูงขึ้นโดยออกแบบและมีหลักการทำงานคือ ท่อนลูกลอยจะประยุกต์ใช้ถังขนาด 200 ลิตร จะถูกยกตัวขึ้นตามระดับความสูงของคลื่นซึ่งเกิดจากการสัจจของเรือหรือเกิดจากลมในขณะเดียวกันนั้นชุดแขนยึดท่อนลูกลอยและระบบกลไก จะถูกยกตัวไปดันระบบเพื่องส่งกำลังแบบ Rack Pinion ผ่านเฟืองสะพานไปขับเฟือง (ที่มีการปรับอัตราทด 1:4) และล้อช่วยแรง (Fly wheel) ที่ติดตั้งบนแกนเพลลาที่ต่อเข้ากับตัว Generator ให้หมุนซึ่งจะหมุนในทิศทางเดียว เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าไปจัดเก็บในแบตเตอรี่แล้วนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้สำหรับระบบแสงสว่าง โดยได้ทำการติดตั้งและทดลองเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นฯ ที่บริเวณชายฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา ณ ทำน้ำพิบูลย์สงคราม อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี



ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Structure Draw1	1
2	Bearing 3003-D17	4
3	Assem-M2 T60	1
4	Bearing 3002-D15	2
5	Shaft D15T-260	1
6	Buoy Structure T	1
7	Shaft D18B-260	1
8	Assem-Rack	1
9	Roller	1
10	Buoy Structure M-D24X24X2	1
11	Buoy Set	1
12	Washer ISO 8738 - 12	8
13	Washer ISO 8738 - 6	14
14	Hexagon Nut ISO - 4034 - M12 - N	8
15	Hexagon Nut ISO - 4034 - M6 - N	14
16	ISO 4014 - M12 x 50 x 30-C	8
17	ISO 4014 - M6 x 50 x 18-C	8
18	ISO 4014 - M8 x 40 x 22-N	1
19	Assem-Motor Gen	1
20	Fly wheel	1
21	Shaft D15T-40 flywheel	1
22	ISO - Spur gear ZM 15T 20PA 20FW --S15B24H30L10.0N	1
23	plate st	1
24	Coupling	1
25	ISO 4762 M3 x 10 --- 10N	2
26	ISO 10642 - M6 x 60 --- 24N	1
27	ISO 4014 - M6 x 50 x 18-N	6
28	Hexagon Flange Nut DIN 6923 - M14 - N	4

ภาพประกอบ 1 เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดที่ได้ออกแบบ



ภาพประกอบ 2 ลักษณะการติดตั้งทดลองเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้า

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การทดสอบเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดซึ่งประสิทธิภาพสามารถหาได้จากหาได้จากสมการที่ (3)

$$\eta_{\text{wave gen}} = \frac{P_{\text{gen, output}}}{P_{\text{wave, input}}} \times 100 = \frac{IV}{(478.64 H^2 T L)} \times 100 = \frac{IV}{433.17 (H^2 T)} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ $\eta_{\text{wave gen}}$ คือ ประสิทธิภาพของเครื่อง $P_{\text{gen, output}}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องสามารถผลิตได้จากการวัด (W) $P_{\text{wave, input}}$ คือ พลังงานจากคลื่นที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 2 (W) I คือ กระแสไฟฟ้าจากการวัด (A) V คือ แรงดันไฟฟ้าจากการวัด (V) H คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น (m) T คือ คาบของคลื่น (s) L คือ ความยาวของท่อนที่รับพลังงานคลื่นน้ำเท่ากับ 0.905 (m)

4.4. การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยและระยะเวลาคืนทุนในส่วนของการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพลังงานจากหาได้จากสมการที่ (4)

$$CE = \frac{C_T}{P_{\text{gen, output}}} \quad (4)$$

เมื่อ CE คือ ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท/kWh) C_T คือ เงินลงทุนรายปีทั้งหมด (บาท/ปี)

$P_{\text{gen, output}}$ คือ ค่าพลังงานที่เครื่องสามารถผลิตได้ (kWh/ปี) โดยเงินลงทุนรายปีทั้งหมดหาได้จากสมการที่ (5)

$$C_T = C_C + C_m - C_S \quad (5)$$

C_C คือ เงินลงทุนเริ่มต้นรายปี (บาท/ปี) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (6)

$$C_C = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (6)$$

เมื่อ i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อปี (%) n คือ อายุการใช้งานของเครื่อง (ปี)

C_m คือ เงินลงทุนในการบำรุงรักษารายปี (บาท/ปี) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (7)

$$C_m = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times 0.05 \quad (7)$$

C_S คือ มูลค่าซากเมื่อครบอายุการใช้งาน ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (8)

$$C_S = 0.1 \times \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} \times \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right) \quad (8)$$

ในการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนจะใช้หลักการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายกล่าวคือสมมติให้มูลค่าเงินไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (9)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น} / \text{มูลค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อปี} \quad (9)$$

5. ผลการวิเคราะห์

5.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ได้และประสิทธิภาพของเครื่องเทียบกับช่วงเวลาใน 1 วันผลการทดสอบเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดโดยทำการติดตั้งและทดลองเครื่องฯ ที่บริเวณตะลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยา ณ ท่าน้ำพิบูลย์สงคราม อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี ได้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งพบว่าเครื่องฯ และผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องฯ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตาราง 1 ผลการทดลอง

ช่วงเวลา	ความสูงคลื่นเฉลี่ย, H		คาบของคลื่น, T	$P_{\text{wave, input}}$		$P_{\text{gen, output}}$	ประสิทธิภาพของเครื่องฯ, $\eta_{\text{wave gen}}$
24 ชั่วโมง	cm	m	s	W/m	W	W	%
17.00-20.00	7.1	0.071	1	2.413	2.184	1.340	61.366
21.00-24.00	1.5	0.015	1	0.108	0.097	0.048	49.249
01.00-04.00	1.5	0.015	1	0.108	0.097	0.047	48.223
05.00-08.00	7.5	0.075	1	2.692	2.437	1.590	65.255
09.00-12.00	3.2	0.032	1	0.490	0.444	0.232	52.303
13.00-16.00	2.6	0.026	1	0.324	0.293	0.150	51.226
AVERAGE	3.900	0.039	1	1.022	0.925	0.568	61.371

5.2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยมีข้อมูลและสมมุติฐานในการวิเคราะห์ คือ เงินลงทุนเริ่มต้นในการสร้างเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดซึ่งรวมเป็นเงินลงทุนทั้งหมดเท่ากับ 16,942.71 บาท (โดยไม่รวมเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อปีเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น มูลค่าซากของเครื่องฯเมื่อครบอายุการใช้งานเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุนเริ่มต้น เครื่องฯมี

อายุการใช้งาน 10 ปี อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ต่อปีเท่ากับ 7.5 เปอร์เซ็นต์ และในการคำนวณระยะคืนทุนกำหนดให้มูลค่าพลังงานต่อ kWh เท่ากับ 3 บาท

ตาราง 2 ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

(พิจารณาโดยสมมติให้มูลค่าเงินคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา)

ลำดับ	รายการ	จำนวนเงิน
1	เงินลงทุนเริ่มต้นในการสร้างเครื่องฯ (บาท)	16,942.71
2	เงินลงทุนเริ่มต้นรายปี, C_C (บาท/ปี)	2,468.388
3	เงินลงทุนในการบำรุงรักษารายปี, C_m (บาท/ปี)	847.136
4	มูลค่าซากเมื่อครบอายุการใช้งาน, C_S (บาท/ปี)	119.765
5	ค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมด, C_T (บาท/ปี) (ลำดับ 1+2+3)	3,435.289
6	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (kWh/ปี)	4,974
7	มูลค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (บาท/ปี) (ลำดับ 6x3บาท)	14,923
8	ต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย, CE (บาท/kWh) (ลำดับ 5/6)	690.649
9	ระยะเวลาคืนทุน (ปี) (ลำดับ 1/7)	1135.342

ผลการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัด แสดงในตาราง 2 โดยมีต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 3 บาทต่อหน่วย โดยมีระยะคืนทุนเท่ากับ 1135.342 ปี จากผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฯ ค่อนข้างนาน

6. อภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าคลื่นที่เกิดจากการสั่นของเรือและคลื่นที่เกิดขึ้นในช่วงที่ไม่มีเรือสราจรความสูงของคลื่นเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.5-7.5 เซนติเมตร คาบเฉลี่ย 1 วินาที ในการทดสอบพบว่าเครื่องฯ เริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าที่ระดับความสูงคลื่นเฉลี่ย 1.5 เซนติเมตร โดยสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 1 วันได้เท่ากับ 0.568 วัตต์ ที่ระดับความสูงคลื่นเฉลี่ย 3.9 เซนติเมตร ตามลำดับ เครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 4.974 kWh/ปี วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า มีต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 690.649 บาทต่อหน่วย โดยมีระยะคืนทุนเท่ากับ 1135.342 ปี

จะเห็นได้ชัดเจนว่าที่ตำแหน่งที่ทดลองนั้นพลังงานคลื่นน้ำมีน้อยเนื่องจากความแตกต่างของความถี่ของการสราจรของเรือ ลักษณะทางภูมิศาสตร์ และ นอกจากนั้นเครื่องฯ มีระยะเวลาคืนทุนค่อนข้างนานซึ่งในอนาคตนั้นจะต้องออกแบบเครื่องมือให้มีราคาที่ถูกลงและติดตั้งในรูปแบบฟาร์มหรือติดตั้งตลอดแนวชายฝั่งทะเลถึงแม่น้ำเจ้าพระยาในบริเวณช่วงที่มีเรือสราจรถึงจะคุ้มค่ากับการลงทุน

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบและทดสอบเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าจากคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยาแบบประหยัดโดยทำการติดตั้งและทดลองเครื่องฯ ที่บริเวณตะลิ่งแม่น้ำเจ้าพระยา ณ ท่าน้ำพิบูลย์สงคราม อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี จากการศึกษาทดลองพบว่าเครื่องฯ มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 61.371 เปอร์เซ็นต์ คุณภาพเครื่องต้นแบบจะขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของคลื่นที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาซึ่งจะส่งผลให้เครื่องทำงานได้อย่างต่อเนื่องและจำนวนชิ้นส่วนลักษณะการออกแบบการวางของอุปกรณ์สำหรับข้อเสนอแนะในการปรับปรุงออกแบบเครื่องในครั้งต่อไปนั้นจะต้องออกแบบให้มีจำนวนเส้นทางของกลไกให้น้อยที่สุดเพื่อลดการสูญเสียพลังงานที่ระบบกลไกหรือออกแบบให้จับตรงโดยไม่ต้องทอดรอบของกระบวนเฟือง และปรับปรุงให้มีราคาถูกลงกว่าเดิมถึงจะคุ้มค่ากับการลงทุนและพิจารณาลักษณะทางกายภาพในการติดตั้งเช่น ติดตั้งที่กวางเรือ ติดตั้งที่โป๊ะเรือโดยประยุกต์ใช้โป๊ะแทนทุ่นลอยรับพลังงานคลื่นน้ำ เป็นต้น

สถานที่ติดตั้งในการทดสอบจะต้องมีการขออนุญาตเจ้าของสถานที่ พิจารณาดำเนินกีดขวางในการยึดติดตั้งวางอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับพลังงานคลื่นและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่เกิดจากผู้อื่นหรือจากเศษวัสดุขยะวัชพืชและความสกปรกจะต้องมีการตรวจสอบตรวจเช็คสภาพอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับการสนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยสิ่งประดิษฐ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มา ณ โอกาสนี้

9. รายงานอ้างอิง

- J.P. Kofoed, P. Frigaard, M. Kramer. 2006. Recent Developments of Wave Energy Utilization in Denmark. Workshop on renewable ocean energy utilization at 20th annual conference, Korean Society of Ocean Engineers.
- Leão Rodrigues. 2008. Wave power conversion systems for electrical energy production. A report by Department of Electrical Engineering Faculty of Science and Technology. Nova University of Lisbon.
- Zafer Defne, Kevin A. Haas, Hermann M. Fritz. 2009. Wave power potential along the Atlantic coast of the southeastern USA. **Renewable Energy**, Volume 34, 2197-2205.
- Muzathik AM, Wan Nik WB, Ibrahim MZ, Samo KB. 2010. Wave Energy Potential of Peninsular Malaysia. **ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences**, volume 5, Issue 7, Pages 11-23.
- Gunnar Mørk, Stephen Barstow, Alina Kabuth, M. Teresa Pontes. 2010. Assessing the global wave energy potential. In ASME 2010 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (pp. 447-454). American Society of Mechanical Engineers.
- Amir Vosough. 2011. Wave Energy. **International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering**, Volume 2, Issue 7, Pages 60-63.

Francis S. Fernandez, Alfonso Parra, Bader Ale, Sabri Tosunoglu. 2011. Ocean wave Energy generator.

Sakarin Suksom. 2012. Design of and Appropriate Small-scale Sea Wave Power Generator System for Southern Thailand's Coastal Area .

**การประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา
ในช่วงจังหวัดนนทบุรีถึงกรุงเทพฯ
WAVE ENERGY POTENTIAL ESTIMATION IN CHAO PHRAYA RIVER
BETWEEN NONTABURI AND BANGKOK**

ภัทรพล เลิศพัชรกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail : blues_452@hotmail.com

เอกพล เตี้ยชั่ว

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail : ekkaponspu@hotmail.com

มูฮัมมัด ทรงชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail : Muhammad.so@spu.ac.th

มนต์ชัย พุกษ์ไอลเลิศ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail : pmonchai@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยอุปกรณ์วัดคลื่นที่ประดิษฐ์ขึ้นมา โดยไปเก็บข้อมูลความสูงและคาบของคลื่นน้ำที่ไปติดตั้งบนท่าเรือ 3 แห่งตามเส้นทางของเรือด่วนเจ้าพระยาได้แก่ ท่าพระราม7 ท่าวังหลัง และท่าวัดจรรยาวาส ซึ่งมีระยะทางกว่า 15 กิโลเมตร

จากการวิจัยพบว่าความสูงเฉลี่ยของคลื่นเท่ากับ 7.1 เซนติเมตร และคาบเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 วินาที ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยใน 1 วันได้เท่ากับ 2.9 วัตต์ต่อเมตร และเมื่อพิจารณาตลอดความยาวแม่น้ำ 15 กิโลเมตร จะได้ศักยภาพพลังงานเท่ากับ 84.8 กิโลวัตต์ ดังนั้นใน 1 ปีจะมีค่าพลังงานเท่ากับ 402,243 กิโลวัตต์ชั่วโมง

คำหลัก: ศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำ แม่น้ำเจ้าพระยา ความสูงคลื่นน้ำ คาบคลื่นน้ำ

ABSTRACT

The research was made for wave energy potential estimation in Chao Phraya river by use wave gauge to collect wave height and wave period values on express boat way that are Rama7 pier, Wang Lang pier and Wat Worachanyawas pier and has distance 15 kilometer.

The research showed that average wave height are 7.1 centimeter and average wave period 1.2 second which can calculate to average wave energy value in 1 day is 2.9 watt per meter and then consider on along distance of river is 14.93 kilometer that can estimate energy potential is 84.8 kilowatt. So, energy is 402,243.14 kilowatt-hour in 1 year.

KEYWORDS: Wave energy potential, Chao Phraya river, Wave height, Wave period

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งจำเป็นมากในชีวิตประจำวันของมนุษย์ พลังงานทดแทนนั้นก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดึงพลังงานต่างๆที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ เพราะเป็นพลังงานที่สะอาด และมีอยู่อย่างไม่จำกัด พลังงานคลื่นน้ำก็เป็นอีกพลังงานทดแทนหนึ่งที่มนุษย์คิดจะนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งเริ่มมีการศึกษาพลังงานชนิดนี้กันมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 และถูกนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้จริงในปี ค.ศ. 2000 ในประเทศอังกฤษ และเมื่อข่าวสารนี้ได้ถูกแพร่ออกไปทั่วโลก ก็มีหลายประเทศที่มีความสนใจในพลังงานชนิดนี้

ในปี ค.ศ. 2009 (Zafer *et al.*, 2009) มีการออกสำรวจชายฝั่งแอตแลนติกตอนใต้เพื่อประเมินศักยภาพของพลังงานคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้น โดยข้อมูลที่เก็บได้นั้นเก็บได้จากสถานีตรวจวัดคลื่นที่กระจายตัวอยู่รอบชายฝั่ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาผ่านการคำนวณเชิงสถิติ เพื่อให้ได้ค่าที่ออกมาเป็นค่าพลังงานคลื่นเฉลี่ยตลอดทั้งปี และต่อมาในปี ค.ศ. 2010 (Gunner *et al.*, 2010) มีการนำข้อมูลคลื่นที่ได้จากฐานข้อมูลจากดาวเทียมและสถานีเก็บวัดคลื่นทั่วโลก มาทำการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นเฉลี่ยจากทั่วโลก และในปีเดียวกันนั้น (Muzathik *et al.*, 2010) ก็ได้มีการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำตลอดชายฝั่งตะวันออกของคาบสมุทรมาเลเซียด้วยเช่นกัน และในปีต่อมาประเทศจีน (Shujie Wang *et al.*, 2011) ก็ได้ทำการสำรวจศึกษาพลังงานคลื่นน้ำบริเวณชายฝั่งตะวันออกของประเทศจีนเพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้มาใช้พัฒนาพลังงานทดแทนในประเทศต่อไป ในด้านของทางเกาหลี (Gunwoo Kim *et al.*, 2012) ทีมนักวิจัยชาวเกาหลีก็ได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำบริเวณทะเลโดยรอบที่ติดกับประเทศเพื่อที่จะใช้เป็นพลังงานทดแทนในประเทศเช่นเดียวกัน ส่วนในประเทศไทยนั้นในปัจจุบันก็ยังไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำเกิดขึ้น

สำหรับบทความนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นในแม่น้ำเจ้าพระยาจากท่าเรือที่อยู่บนเส้นทางเดินเรือผ่านเจ้าพระยา ซึ่งมีด้วยกันทั้งหมด 3 ท่า นั่นคือ ท่าเรือพระราม7, ท่าเรือวังหลัง, ท่าเรือวัดจรรยาवास และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยตลอดเส้นทาง เหตุผลที่เลือกทั้ง 3 ท่านี้ เพราะว่ามีสภาพการจราจรทางน้ำที่แตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้จะมีค่าที่แตกต่างกันตามไปด้วย จึงเหมาะที่จะนำข้อมูลแต่ละท่ามาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

2. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

ค่าพลังงานของคลื่นต่อหนึ่งหน่วยความยาวคลื่น (P_{wave}) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อเมตร (W/m) ซึ่งเกิดจากผลรวมของพลังงานศักย์และพลังงานจลน์ของคลื่น สามารถหาได้จาก

$$P_{\text{wave}} = \frac{\rho g^2 H^2 T}{64\pi} = 478.64 H^2 T \quad (\text{W/m}) \quad (2.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่ากับ $1,000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$ g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่าประมาณ $9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$ และ H คือ ระยะความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น (m) T คือ คาบ ซึ่งเป็นส่วนกลับกับความถี่ (s) ดังนั้นพลังงานของคลื่นหน่วยเป็นกิโลวัตต์ ที่มีความยาวคลื่น (L) เมตรจะมีสมการที่มีค่าประมาณเป็น

$$P_{\text{wave}} \approx 478.64 H^2 T L \quad (\text{W}) \quad (2.2)$$

หากสมมติว่าคลื่นบนแม่น้ำเจ้าพระยา ณ จุดใดจุดหนึ่ง โดยมีความสูงจากท้องคลื่นถึงสันคลื่น $H = 0.25 \text{ m}$ ในเวลาของคาบ $T = 1 \text{ s}$ และบนหน้าคลื่นที่มีความยาว $L = 2 \text{ m}$ จะสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าตามสมการที่ (2) ได้ 60 วัตต์ และจากทฤษฎีดังกล่าว กล่าวได้ว่าหากคลื่นที่เกิดขึ้นในบริเวณชายฝั่งยาว 100 กิโลเมตร อาจสามารถใช้ผลิตไฟฟ้าได้ถึงประมาณ 2 เมกะวัตต์ โดยเป็นการประเมินค่าพลังงานที่จะได้จากคลื่นเฉพาะแถบริมชายฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา

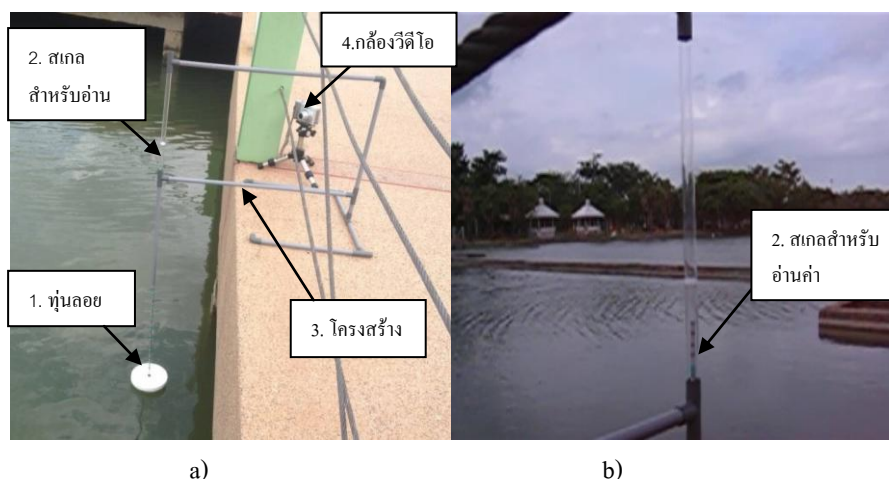
3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 3.1. เพื่อแสดงศักยภาพของพลังงานคลื่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาที่เกิดขึ้น
- 3.2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำพลังงานคลื่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามาใช้เป็นพลังงานทางเลือกในอนาคต

4. วิธีการดำเนินวิจัย

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

ชุดเครื่องมือวัดคลื่นน้ำนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ ท่อนลอยทำจากโฟม แท่งสเกลที่มีสเกลในระดับเซนติเมตร โครงสร้างซึ่งเกิดจากการประกอบกันของท่อ PVC และกล่องวิดีโอ



ภาพประกอบที่ 1 a) ชุดเครื่องมือวัดคลื่นน้ำ และ b) ภาพที่ได้จากการบันทึกวิดีโอเพื่อวัดค่า

ในการเก็บข้อมูลนั้น จะใช้กล้องวิดีโอในการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของแท่งสเกล และนำไฟล์วิดีโอที่ได้นั้นมาอ่านค่าด้วยสายตา โดยความละเอียดของค่าที่ได้อยู่ในระดับเซนติเมตร ซึ่งความแม่นยำที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับตัวผู้อ่านค่าด้วยส่วนหนึ่ง

4.2 วิธีการเก็บข้อมูล

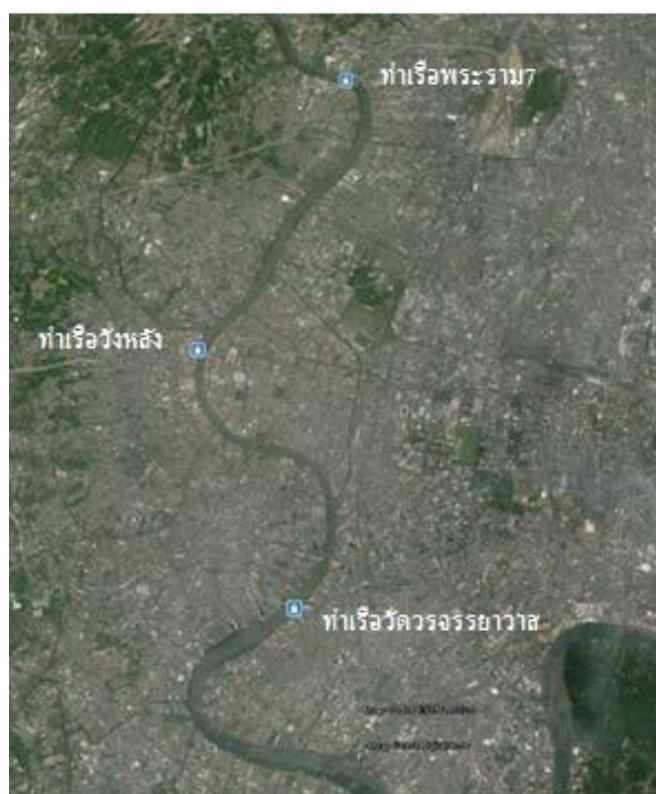
4.2.1 ติดตั้งชุดเครื่องมือวัดคลื่นดังในรูปที่ 3 บนท่าเรือทั้ง 3 ท่า ได้แก่ ท่าเรือพระราม7 ท่าเรือวังหลัง และ ท่าเรือวัดวรจรรยาวาส

4.2.2 บันทึกภาพการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของคลื่นน้ำบนสเกลอ่านค่า ที่เชื่อมกับหุ่นลอยใน 2 กรณีคือ ในกรณีที่ไม่มีเรือมาเทียบท่าและที่มีเรือมาเทียบท่า ตามช่วงเวลาในการบันทึกคือช่วงเช้า (08.00 น. – 09.00 น.) ช่วงเที่ยงวัน (12.00 น. – 13.00 น.) และช่วงเย็น (16.00 น. – 17.00 น.)

4.2.3 เก็บข้อมูลตลอด 7 วันในหนึ่งสัปดาห์

4.2.4 นำผลจากการบันทึกข้อมูล มาหาค่าความสูงคลื่นน้ำ (H) และคาบของคลื่นน้ำ (T) ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละท่าเรือ

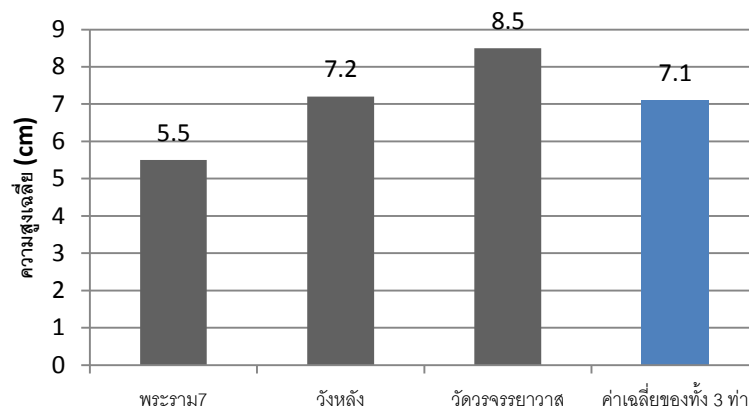
4.2.5 คำนวณค่าพลังงานคลื่นน้ำ และประเมินศักยภาพตลอดความยาวแม่น้ำ



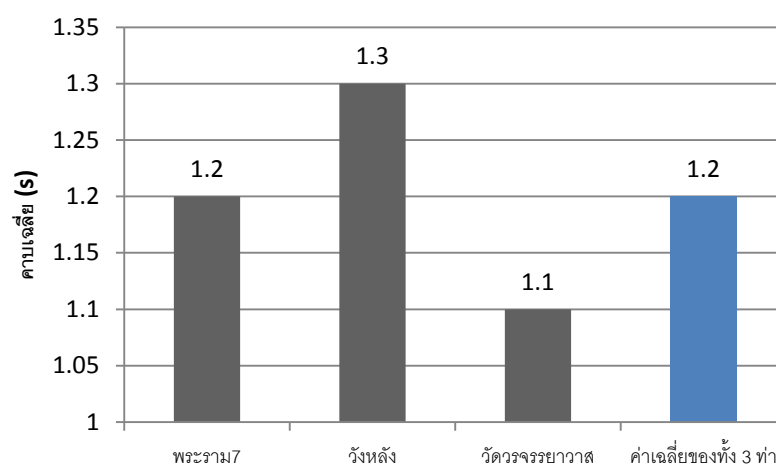
ภาพประกอบที่ 2 แผนที่แสดงเส้นทางเดินเรือตั้งแต่ท่าเรือพระราม7 จนถึง ท่าเรือวัดวรจรรยาวาส
ที่มา Google Earth

5. ผลการวิเคราะห์

จากการเก็บข้อมูลความสูงคลื่นและคาบของคลื่นในแต่ละท่าเรือทั้งหมดจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยใน 1 วันของแต่ละท่า รวมไปถึงค่าเฉลี่ยใน 1 วันของทั้ง 3 ท่า ดังแสดงในภาพประกอบที่ 3 และ ภาพประกอบที่ 4

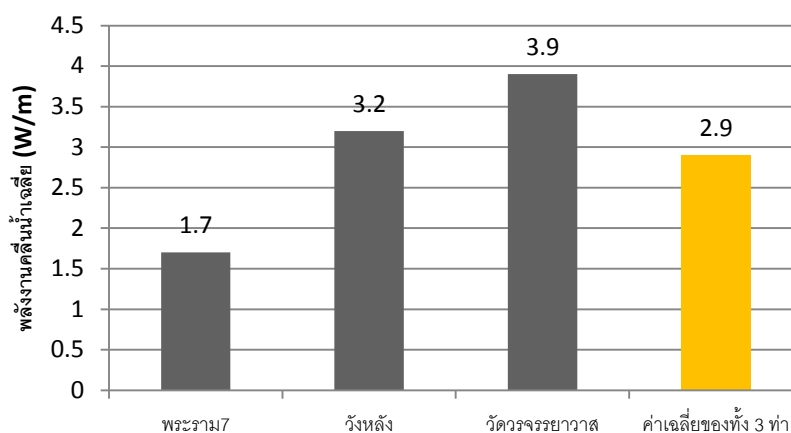


ภาพประกอบที่ 3 ความสูงคลื่นเฉลี่ยแต่ละท่าเรือ และค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ท่าเรือ ใน 1 วัน



ภาพประกอบที่ 4 คาบเฉลี่ยแต่ละท่าเรือ และค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ท่าเรือ ใน 1 วัน

จากผลลัพธ์พบว่าความสูงคลื่นเฉลี่ยในบริเวณท่าเรือวัดวรจรยาวาสมีค่าสูงที่สุด และค่าต่ำสุดจะอยู่ที่บริเวณท่าเรือพระราม7 และในส่วนของคาบของคลื่นในแต่ละท่าเรือค่าที่ได้ออกมามีค่าที่ใกล้เคียงกันมากโดยค่าที่สูงที่สุดจะอยู่ในบริเวณท่าเรือวังหลังและต่ำสุดจะอยู่ที่ท่าวัดวรจรยาวาส ซึ่งสามารถนำมาคำนวณเป็นค่าพลังงานคลื่นน้ำได้โดยใช้สมการที่ (2.1) ดังในภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 5 พลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยแต่ละท่าเรือ และค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ท่าเรือ ใน 1 วัน

เมื่อได้ค่าพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยมาแล้ว จึงนำมาคิดคำนวณตามความยาวของทั้ง 2 ฟังแม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อให้ค่าศักยภาพพลังงานรวม จากนั้นจึงนำไปประเมินศักยภาพพลังงานรวมในช่วงเวลา 1 วัน 1 เดือน และ 1 ปี ดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นในแม่น้ำเจ้าพระยา

รายการประเมิน	ศักยภาพพลังงาน
ศักยภาพพลังงานที่ความยาวแม่น้ำ 15 km.	84.8 kW
ศักยภาพพลังงานใน 1 วัน	1,102 kWh
ศักยภาพพลังงานใน 1 เดือน	33,061 kWh
ศักยภาพพลังงานใน 1 ปี	402,243 kWh

ศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นในแม่น้ำเจ้าพระยานั้น ถือว่ายังน้อยมากเมื่อเทียบกับศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำที่เกิดขึ้นในต่างประเทศ เช่น ที่ประเทศอเมริกา [1] และประเทศเกาหลี [5] พบว่ามีค่าพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยประมาณ 15,000 W/m และ 25,000 W/m ตามลำดับ ในขณะที่พลังงานที่เกิดขึ้นในแม่น้ำเจ้าพระยามีค่าพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยประมาณ 2.9 W/m แต่อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ในงานวิจัยนี้ก็ถือเป็นเพียงค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในแม่น้ำเจ้าพระยาเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น คาดว่าถ้าเป็นพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลของประเทศไทยที่มีความสูงและคาบของคลื่นสูงกว่าในแม่น้ำเจ้าพระยา ค่าพลังงานที่ได้น่าจะสูงกว่านี้

6. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินศักยภาพพลังงานคลื่นน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยอุปกรณ์วัดคลื่นที่ประดิษฐ์ขึ้นมา โดยนำไปติดตั้งและเก็บข้อมูลความสูงและคาบของคลื่นน้ำที่บนท่าเรือ 3 แห่งตามเส้นทางของเรือด่วนเจ้าพระยาได้แก่ ท่าพระราม7 ท่าวังหลัง และท่าวัดวรจรยาวาส จากนั้นจึงนำมาค่าที่ได้มาคำนวณเป็นค่าพลังงาน

ซึ่งผลการเก็บข้อมูลพบว่าความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 7.1 เซนติเมตร และคาบเฉลี่ยเท่ากับ 1.2 วินาที โดยสามารถคำนวณเป็นค่าพลังงานคลื่นน้ำเฉลี่ยใน 1 วันได้เท่ากับ 2.9 วัตต์ต่อเมตร และเมื่อพิจารณาความยาวตลอดแม่น้ำทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งจะมีระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตร จะได้พลังงานเท่ากับ 84.8 กิโลวัตต์ ดังนั้นที่ 13 ชั่วโมงต่อวัน คือตั้งแต่ช่วงเวลา 06.00 น. จนถึง 19.00 น. ของทุกวัน จะมีพลังงานเท่ากับ 1,102 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือใน 1 เดือนจะมีค่าพลังงานเท่ากับ 33,061 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือใน 1 ปีจะมีค่าพลังงานเท่ากับ 402,243 กิโลวัตต์ชั่วโมง

7. ข้อเสนอแนะ

ค่าที่ได้จากการประเมินศักยภาพพลังงานแม่น้ำเจ้าพระยาในครั้งนี้ เป็นค่าประมาณเบื้องต้นที่เกิดจากการอ่านค่าด้วยสายตาซึ่งค่าที่ได้นั้นมีความละเอียดค่อนข้างต่ำ หากได้เครื่องมือวัดที่มีความสามารถในการเก็บข้อมูลละเอียดสูงมาใช้และรวมไปถึงการเพิ่มระยะทางการสำรวจบนแม่น้ำเจ้าพระยา ผลลัพธ์ที่ได้ก็必将มีความถูกต้องมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดีเพราะได้รับการสนับสนุนโดยทุนอุดหนุนการวิจัยสิ่งประดิษฐ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ มา ณ โอกาสนี้

7. รายงานอ้างอิง

- Zafer Defne, Kevin A. Haas, Herman M. Fritz. 2009. "Wave power potential along the Atlantic coast of the southeastern USA." **Renewable Energy**, 34: 2197-2205.
- Gunnar Mørk, Stephen Barstow, Alina Kabuth, M. Teresa Pontes. 2010. **Assessing the global wave energy potential, 29th International Conference on Ocean, Offshore Mechanics and Arctic Engineering.**
- Muzathik AM, Wan Nik WB, Ibrahim MZ, Samo KB. 2010. "Wave energy potential of peninsular Malaysia." **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**. 5, 7: 11-23.
- Shujie Wang, Peng Yuan, Yuhe Jiao. 2011. "An overview of ocean renewable energy in China." **Renewable and Sustainable Energy Review**, 15: 91 – 111.
- Gunwoo Kim, Myung Eun Lee, Kwang Soo Lee, Jin-Soon Park, Weon Mu Jeong, Sok Kuh Kang, Jae-Gwi Soh, Hanna Kim. 2012. "An overview of ocean renewable energy resources in Korea." **Renewable and Sustainable Energy Review**, 16: 2278 – 2288.

การอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล
CHARCOAL BRIQUETTES DRYING USING COMBINED SOLAR ENERGY
AND FAR-INFRARED RADIATION

ภูมิใจ สอาดโคม

อาจารย์สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

E-mail : poomjai.s@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล รวมทั้งหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ โดยอบแห้งถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 27-29 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จนเหลือความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จากผลการทดลองพบว่า วิธีการอบแห้งและตำแหน่งถาดภายในห้องอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง และยังพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด

คำสำคัญ: การอบแห้ง ถ่านอัดแท่ง พลังงานแสงอาทิตย์ รังสีอินฟราเรดไกล

ABSTRACT

The objective of this research was to compare the changes in the moisture content of charcoal briquettes in a solar energy dryer, a far-infrared radiation dryer, and a combined solar energy and far-infrared radiation dryer. Thermal efficiency of those dryers was also studied. The coconut shell charcoal briquettes with the initial moisture content of 27-29% wet basis were dried until the final moisture content reached to a level less than 8% wet basis. The experimental results showed that the drying method and the tray position in drying chamber had effect on the changes in the moisture content of charcoal briquettes. Moreover, the results also showed that the solar energy dryer had the lowest thermal efficiency, and the far-infrared radiation dryer had the highest thermal efficiency.

KEY WORDS: Charcoal briquettes, Drying, Far-infrared radiation, Solar energy

1. บทนำ

การแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันคือ การผลิตถ่านอัดแท่ง ซึ่งเป็นการนำวัตถุดิบหรือวัสดุทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ชี้อ้อย ชังข้าวโพด และเศษไม้ต่างๆ เป็นต้น มาผลิตเป็นเชื้อเพลิง กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งเริ่มจากการเผาวัตถุดิบ การบดย่อยถ่านให้เป็นผงถ่าน การผสมกับแป้งมัน การอัดผงถ่านให้เป็นแท่ง และการตากแดดหรืออบแห้ง โดยถ่านอัดแท่งที่ได้ต้องมีความชื้นไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ทั้งนี้ขั้นตอนในการทำถ่านอัดแท่งแห้งส่วนใหญ่นิยมตากแดดตามธรรมชาติ หากไม่มีแสงแดดหรืออยู่ในช่วงฤดูฝนก็ไม่สามารถผลิตถ่านอัดแท่งได้ อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการบางรายนำถ่านอัดแท่งเข้าเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (ประสงค์ หน่อแก้ว, 2553) แต่มีปัญหาที่พบคือ การใช้พลังงานที่สูงในระหว่างการอบแห้ง เนื่องจากลมร้อนจะถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุเพื่อทำให้ความชื้นภายในวัสดุเกิดการระเหยออกไปซึ่งเป็นการใช้พลังงานที่สูงในส่วนของการให้ความร้อนแก่อากาศ ดังนั้นจึงมีการนำรังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ในการอบแห้ง

ปัจจุบันการนำรังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ในการอบแห้งกำลังได้รับความนิยม เพราะรังสีอินฟราเรดไกลให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว กระจายความร้อนได้สม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง (ภูมิใจ สอาดโหม และชนิด สวัสดิ์เสวี, 2557) นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (แบบมีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววี) ก็ได้รับความนิยมเช่นเดียวกัน เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววีมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบธรรมดาและแบบมีกริ๊บ (ธีระศักดิ์ หุดากร, 2552) พลังงานแสงอาทิตย์ยังเป็นพลังงานหมุนเวียนและไม่ก่อให้เกิดมลพิษใดๆ อีกด้วย ดังนั้นการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลจึงมีความน่าสนใจมาก ทั้งนี้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ได้แก่ อำไพศักดิ์ ทิบุญมา และคณะ (2549) ได้ศึกษาการอบแห้งปลานิล โดยเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และการตากแดดตามธรรมชาติ จากการทดลองพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้เวลาอบแห้งสั้นและมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และการตากแดดตามธรรมชาติ และยังพบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีเงื่อนไขการทำงานที่เหมาะสมคือ ควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งที่ 60°C ทั้งนี้จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่า ไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และยังมีหัวข้อที่น่าสนใจที่ควรศึกษาเพิ่มเติม ได้แก่ การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล รวมทั้งการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

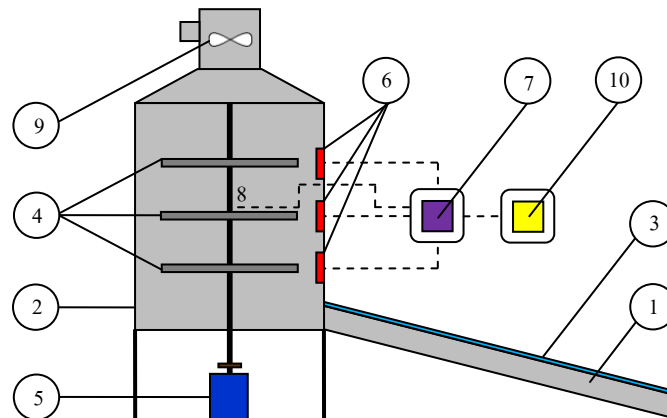
2.1 เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

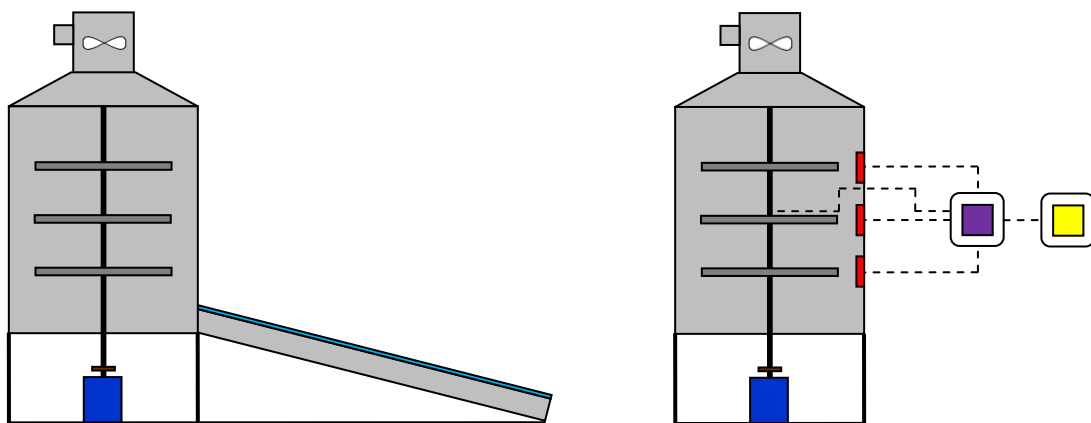
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังภาพที่ 1 ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววีขนาด 2×1 ตร.ม. (หมายเลข 1) ห้องอบแห้งขนาด 1×1×1.2 ลบ.ม. (หมายเลข 2) พนักห้องอบแห้งและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำจากแผ่นสังกะสี ด้านในของพนักห้องอบแห้งและตัวเก็บรังสีอาทิตย์หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดแผ่นโฟลด์ติดกับโฟมโพลีเอธิลีนหนา 3 มม. ส่วนแผ่นปิดหน้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำจากกระจกใสหนา 5 มม. (หมายเลข 3) เหยียงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ ในห้องอบแห้งมีถาดขนาด 50×50 ตร.ซม. จำนวน 3 ชั้นๆ ละ 1 ถาด (หมายเลข 4) แต่ละชั้นมีระยะห่างกัน 25 ซม. ทั้งนี้แต่ละถาดสามารถวางถ่านอัดแท่งได้ 16 แท่ง (ถ่านอัดแท่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 ซม. และความยาว 20 ซม.) และถาดสามารถหมุนได้เพื่อให้ถ่านอัดแท่งสามารถรับรังสีอินฟราเรดไกลได้อย่างทั่วถึง โดยถาดหมุนด้วยความเร็ว 3.3 รอบต่อนาที ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ยี่ห้อ Hitachi รุ่น CA19-010-50 ขนาด 100 วัตต์ (หมายเลข 5) นอกจากนี้ยังมีแท่งหลอดรังสีอินฟราเรดไกลขนาด 650 วัตต์ จำนวน 3 หลอด ติดตั้งไว้ที่ระยะเดียวกับถาดหมุน (หมายเลข 6) โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งที่ 60°ซ ด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดียี่ห้อ Toho รุ่น TTM-004 (หมายเลข 7) มีความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{ซ}$ ตำแหน่งที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศอยู่ตรงกลางห้องอบแห้ง และใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (หมายเลข 8) เป็นตัววัดอุณหภูมิ ทั้งนี้ด้านบนของห้องอบแห้งติดตั้งพัดลมยี่ห้อ Hatari รุ่น HT-VC10M2(G) ขนาด 10 วัตต์ (หมายเลข 9) เพื่อระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้งและเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ณ ตำแหน่งทางเข้าห้องอบแห้งไว้ที่ 0.04 กก.ต่อวินาที ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งถูกวัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Dai-ichi (หมายเลข 10) และค่าความชื้นรังสีอาทิตย์วัดด้วยเครื่องวัดความชื้นรังสีอาทิตย์ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-1307



(1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววี (2) หีกรอบแห้ง (3) แผ่นกระจกลใส (4) ถาดสำหรับวางถ่านอัดแท่ง (5) มอเตอร์ (6) หลอดรังสีอินฟราเรดไกล (7) เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (8) เทอร์โมคัปเปิล (9) พัดลม (10) มิเตอร์ไฟฟ้า

ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังภาพที่ 2(ก) และ 2(ข) ตามลำดับ โดยลักษณะและรายละเอียดของเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบนี้คล้ายกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล แต่เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้ติดตั้งหลอดรังสีอินฟราเรดไกลและชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในหีกรอบแห้ง ส่วนเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลไม่ได้ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววี



(ก) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

(ข) เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล

ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งถ่านอัดแท่ง

3.2 การเตรียมถ่านอัดแท่ง

นำกะลามะพร้าวแห้งไปเผาในเตาเผาถ่านแบบถังขนาด 200 ลิตร แล้วนำถ่านกะลามะพร้าวที่ได้ไปบดให้ละเอียดในเครื่องบดย่อยวัสดุขนาด 3 แรงม้า จากนั้นร่อนผงถ่านผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 0.5 มม. แล้วนำผงถ่านที่ได้ไปผสมกับแป้งมันและน้ำเปล่าด้วยอัตราส่วนของผงถ่าน 5 กก. แป้งมัน 250 กรัม และน้ำเปล่า 5

ลิตร ในเครื่องผสมวัสดุขนาด 3 แรงม้า จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปอัดในเครื่องอัดถ่านแท่งขนาด 3 แรงม้า โดยถ่านอัดแท่งที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 ซม. มีช่องรูตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. แล้วตัดถ่านอัดแท่งที่ได้ให้มีความยาว 20 ซม.

3.3 วิธีการอบแห้ง

3.3.1 อบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด ไกลพร้อมกันเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งที่สภาวะความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกัน โดยอบแห้งในวันที่ 28 ธันวาคม 2556 ถึง 1 มกราคม 2557 ตั้งแต่เวลา 8.00 น. - 17.00 น. อบแห้งจนความชื้นของถ่านอัดแท่งต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

3.3.2 อบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรด ไกล (เครื่องอบแห้งนี้ไม่ใช่พลังงานแสงอาทิตย์) ในวันที่ 2 มกราคม 2557 ตั้งแต่เวลา 8.00 น. จนความชื้นของถ่านอัดแท่งต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

3.4 การหาปริมาณความชื้นของถ่านอัดแท่ง

การหาน้ำหนักแห้งของถ่านอัดแท่งทำได้โดยนำถ่านอัดแท่งไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ (AOAC, 1995) โดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้ง แล้วนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นของถ่านอัดแท่งที่เวลาใดๆ ได้ดังสมการ

$$M = \frac{w - d}{w} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ M คือความชื้นของถ่านอัดแท่งที่เวลาใดๆ (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก, %w.b.) w คือน้ำหนักของถ่านอัดแท่งที่เวลาใดๆ (กก.) และ d คือน้ำหนักแห้งของถ่านอัดแท่ง (กก.)

3.5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

3.5.1 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์หาได้จากอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งดังสมการ (มณฑนา รังสีโยภาส และนัทธีชนนท์ พงษ์พานิช, 2556)

$$\eta_{th_1} = \frac{m_1 h_{fg}}{G A t_1 + E_1} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ η_{th_1} คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ m_1 คือมวลน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (กก.) h_{fg} คือค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำที่ความดันบรรยากาศ ($2,257.92 \times 10^3$ จูลต่อ กก.) G คือค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย (วัตต์ต่อ ตร.ม.) A คือพื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ตร.ม.) t_1 คือระยะเวลาอบแห้งวัสดุด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (วินาที) และ E_1 คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (จูล)

3.5.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรด ไกลหาได้จากอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งดังสมการ (มณฑนา รังสีโยภาส และนัทธีชนนท์ พงษ์พานิช, 2556)

$$\eta_{th_2} = \frac{m_2 h_{fg}}{E_2} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ η_{th_2} คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล m_2 คือมวลน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล (กก.) และ E_2 คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล (จูล)

3.5.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลหาได้จากอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งดังสมการ (มันทนา รังสิโยภาส และนันทิธรนันทพงษ์พานิช, 2556)

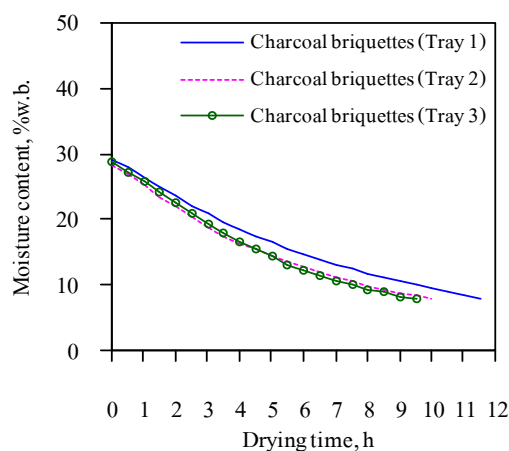
$$\eta_{th_3} = \frac{m_3 h_{fg}}{GA t_3 + E_3} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ η_{th_3} คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล m_3 คือมวลน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (กก.) t_3 คือระยะเวลาอบแห้งวัสดุด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (วินาที) และ E_3 คือปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (จูล)

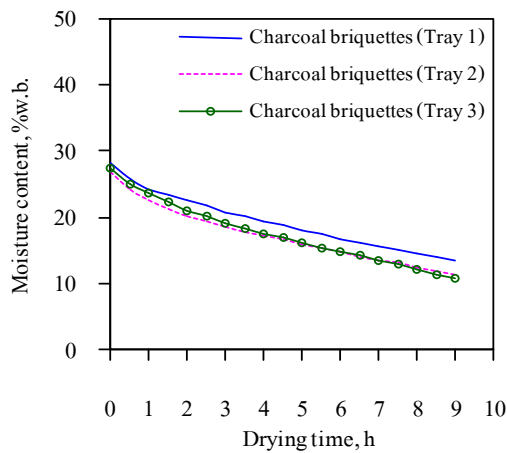
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลของตำแหน่งถาดภายในห้องอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถาดอัดแท่ง

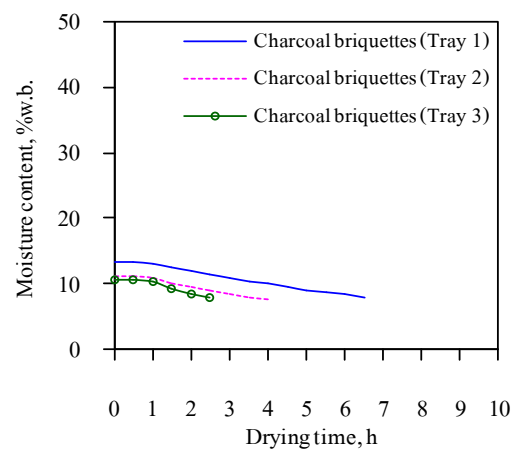
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถาดอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 ในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ถาดอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 (ถาดชั้นล่าง) ใช้เวลาอบแห้งนานที่สุด ส่วนถาดอัดแท่งในถาดชั้นที่ 3 (ถาดชั้นบน) ใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุด เนื่องจากอากาศร้อนเคลื่อนที่จากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของห้องอบแห้ง ความร้อนจึงสะสมอยู่บริเวณด้านบนของห้องอบแห้ง ส่งผลให้ถาดอัดแท่งในถาดชั้นบนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอัตราการระเหยของน้ำเร็วกว่าถาดอัดแท่งในถาดชั้นล่าง ทั้งนี้ระยะเวลาการอบแห้งถาดอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถาดอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 ในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล โดยอบแห้งถาดอัดแท่งเมื่อวันที่ 2 มกราคม 2557 ตั้งแต่เวลา 8.00 น.

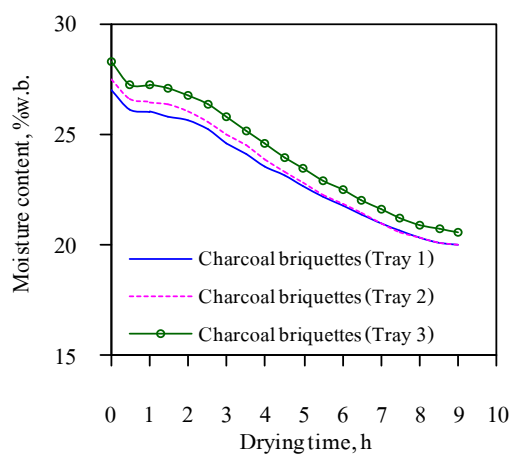


(ก)

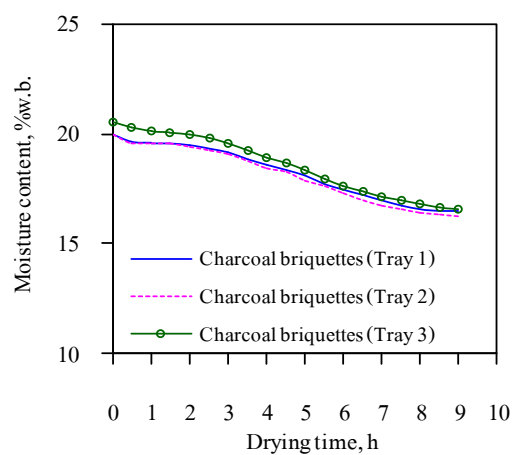


(ข)

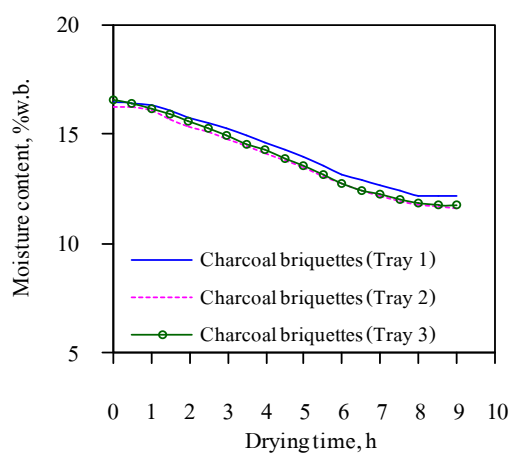
ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 ในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่อ (ก) วันที่ 28 ธ.ค. 2556 (ข) วันที่ 29 ธ.ค. 2556 โดยอบแห้งถ่านอัดแท่งตั้งแต่วันที่ 8.00 ถึง 17.00 น.



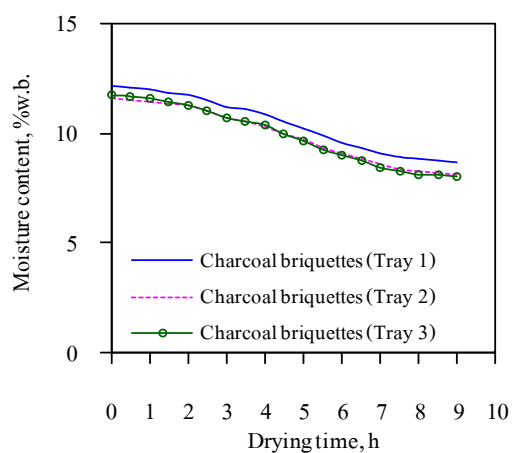
(ค)



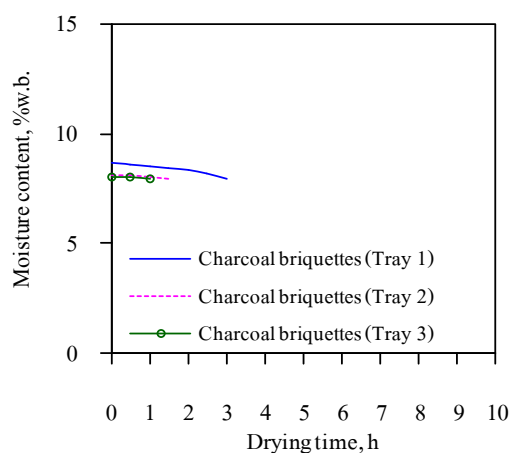
(ง)



(จ)



(ฉ)



(จ)

ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 ในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อ (ก) วันที่ 28 ธ.ค. 2556 (ข) วันที่ 29 ธ.ค. 2556 (ค) วันที่ 30 ธ.ค. 2556 (ง) วันที่ 31 ธ.ค. 2556 และ (จ) วันที่ 1 ม.ค. 2557 โดยอบแห้งถ่านอัดแท่งตั้งแต่วันที่ 8.00 ถึง 17.00 น.

ตารางที่ 1 ระยะเวลาการอบแห้งถ่านอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 ด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

วิธีการอบแห้ง	ระยะเวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)		
	ถาดชั้นที่ 1 (ชั้นล่าง)	ถาดชั้นที่ 2 (ชั้นกลาง)	ถาดชั้นที่ 3 (ชั้นบน)
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	39	37.5	37
เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล	11.5	10	9.5
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล	15.5	13	11.5

4.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เมื่อถ่านอัดแท่งอยู่ในถาดชั้นที่ 1 2 และ 3 แสดงดังภาพที่ 6(ก) 6(ข) และ 6(ค) ตามลำดับ ซึ่งพบว่า ถ่านอัดแท่งอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งนานที่สุด ส่วนถ่านอัดแท่งอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุด เนื่องจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอบแห้งน้อยที่สุด และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอบแห้งสูงที่สุดแสดงดังตารางที่ 2 นอกจากนี้รังสีอินฟราเรดไกลยังสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุสูงขึ้น

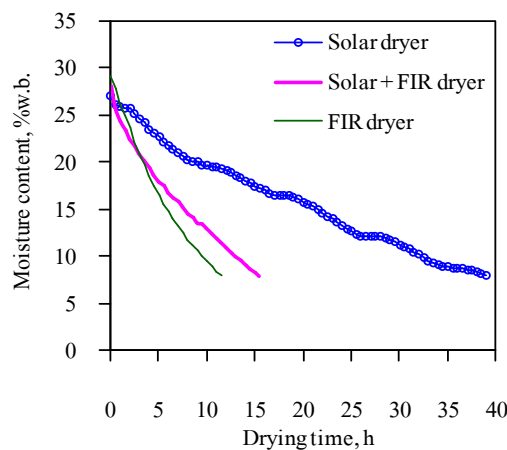
ตารางที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องอบแห้งตลอดระยะเวลาการอบแห้งถ่านอัดแท่งของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

วิธีการอบแห้ง	ระยะเวลาการอบแห้ง (ชั่วโมง)	อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน ห้องอบแห้ง (°ซ)
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	39	35.94
เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล	11.5	58.77
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล	15.5	57.72

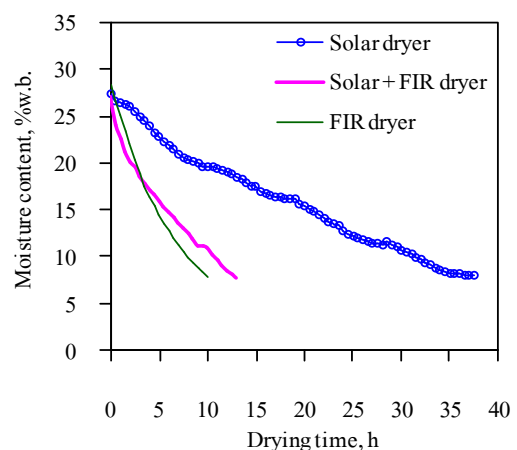
4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด ส่วนเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด เนื่องจากเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลใช้เวลาอบแห้งถ่านอัดแท่งน้อยกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ตามลำดับ

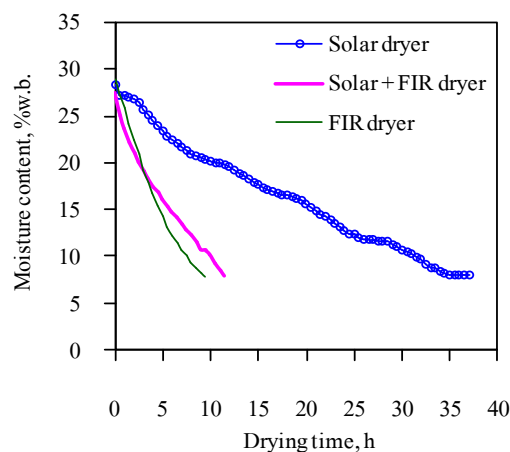
ในตารางที่ 3 ยังพบว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเครื่องอบแห้งนี้มีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักในการให้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง ถ้าอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งน้อยกว่า 60°ซ รังสีอินฟราเรดไกลก็จะทำงานในการให้ความร้อนเสริม ซึ่งทำให้เครื่องอบแห้งนี้ใช้ปริมาณไฟฟ้าที่น้อยและสามารถอบแห้งได้ค่อนข้างเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ มีค่าน้อย เนื่องจากผู้วิจัยออกแบบห้องอบแห้งให้สามารถมีค่าดวงผลิตภัณฑ์ได้ 7 ชั้น แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ค่าดวงผลิตภัณฑ์เพียง 3 ชั้น จึงทำให้มวลน้ำที่ระเหยออกจากถ่านอัดแท่งมีปริมาณต่ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งมีค่าน้อย



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ เมื่อ (ก) ถ่านอัดแท่งอยู่ในถาดชั้นที่ 1 (ข) ถ่านอัดแท่งอยู่ในถาดชั้นที่ 2 และ (ค) ถ่านอัดแท่งอยู่ในถาดชั้นที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

วิธีการอบแห้ง	มวลน้ำที่ระเหยออกจากถ่านอัดแท่งอบแห้ง (กก.)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (จูล)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (%)
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	0.943	15.48×10^6	1.37
เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล	0.967	48.60×10^6	4.49
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล	0.946	7.20×10^6	3.39

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของตำแหน่งถาดภายในห้องอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งพบว่า ถ่านอัดแท่งในถาดชั้นที่ 1 (ถาดชั้นล่าง) ใช้เวลาอบแห้งนานที่สุด ส่วนถ่านอัดแท่งในถาดชั้นที่ 3 (ถาดชั้นบน) ใช้

เวลาอบแห้งสั้นที่สุด และจากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งในระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรด ไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด ไกลพบว่า ถ่านอัดแท่งอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ใช้เวลาอบแห้งนานที่สุด ส่วนถ่านอัดแท่งอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรด ไกลใช้เวลาอบแห้งสั้นที่สุด และพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด ส่วนเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรด ไกลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรด ไกลมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากเครื่องอบแห้งนี้ใช้พลังงานผสมผสานระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากหลอดรังสีอินฟราเรด ไกล ทำให้สามารถอบแห้งได้ค่อนข้างเร็วและใช้ปริมาณไฟฟ้าที่น้อย

6. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยต่อไปควรศึกษาถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ และระดับของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งถ่านอัดแท่ง และควรทดลองอบแห้งกับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอื่นๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่สนับสนุนทุนวิจัยซึ่งทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

8. รายการอ้างอิง

- ธีระศักดิ์ หุตากร. 2552. การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววีสำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23. วันที่ 4-7 พฤศจิกายน 2552 จังหวัดเชียงใหม่.
- ประสงค์ หน่อแก้ว. 2553. “การปรับปรุงเตาถ่านอัดแท่งและการหาสมรรถนะทดสอบ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ภูมิใจ สอาดโหม และชนิด ศาสตร์เสวี. 2557. “การอบแห้งเนื้อหมูปดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด ไกล.” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. 7 (1): 83-97.
- มันทนา รังสิโยภาส และนันทธีรนนท์ พงษ์พานิช. 2556. การศึกษาการอบแห้งแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอ็คทีฟสำหรับกล้วยสไลซ์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27. วันที่ 16-18 ตุลาคม 2556 จังหวัดชลบุรี.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, นิรันดร์ หันไชยงูวา และชาคริต โพธิ์งาม. 2549. การศึกษาการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรด. อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- AOAC. 1995. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. Virginia: Association of Official Analytical Chemists.

การใช้การคำนวณเชิงอ่อนเพื่อพัฒนาการมองเห็นของหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ได้

SOFT-COMPUTING APPROACHES TO STEREO VISION OF MOBILE ROBOT

อนันตชัย สุวรรณาคม

อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: anantachain@nu.ac.th

กฤษณะ สุวรรณขจร

นักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วัชรกร ศรีคำ

นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ธนบรรณ ตะทิว

นักศึกษาระดับปริญญาเอก ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาการมองเห็นของหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นฐานของหลักการคำนวณเชิงอ่อน ชนิดโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อการรับรู้และการทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์โดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากระบบกล้องสเตอริโอวิชั่น อัลกอริทึมภายในประกอบด้วย การวิเคราะห์เพื่อระยะห่างของวัตถุ การวิเคราะห์ขนาดของวัตถุและการวิเคราะห์การจดจำลักษณะวัตถุของสิ่งกีดขวางต่างๆ เพื่อกำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้เพอร์เซพตรอนหลายชั้น ผลของการทดลองพบว่าระบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถตอบสนองและปรับตัวให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เคลื่อนที่ การคำนวณเชิงอ่อน สเตอริโอวิชั่น

ABSTRACT

This paper presents the development of a mobile robot vision based on the principle of soft computing which is artificial neural network to recognize and understand the environment of the robot using information obtained from a stereo camera vision system. The core algorithm consists of analysis to the distance of the object, analysis of the object size and feature object identification of obstacles. To determine the direction of motion of the robot by multilayer perceptron. The results of the experiment showed that the motion of the robot is able to respond and adapt to the robot can move well.

KEYWORDS: Mobile robot, Soft-computing, Stereo vision

1. บทนำ

วิทยาการหุ่นยนต์มีศักยภาพมหาศาลที่จะเปลี่ยนวิถีชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันไปทางที่ดีขึ้น แต่อุปสรรคสำคัญประการหนึ่งในการพัฒนาวิทยาการด้านนี้ให้เกิดผลสัมฤทธิ์ คือ ความยากในการคิดค้นอัลกอริทึมสำหรับการรับรู้ (perception) และการทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์ ปัจจุบันการคำนวณเชิงอ่อน (Ghosh และ Pal, 2002; Choras, 2006) มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมและมีความสำคัญในด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตของมนุษย์ ทั้งทางด้านการแพทย์และสุขภาพ การรักษาความมั่นคงปลอดภัย การศึกษา และความบันเทิง สำหรับประเทศไทยได้มีการนำเข้าระบบที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงอ่อนจากต่างประเทศเพื่อประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เป็นจำนวนมากและเพื่อรองรับความต้องการที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องสำหรับงานทางด้านห้องปฏิบัติการวิจัย ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าระบบการคำนวณเชิงอ่อนมีประโยชน์อย่างมาก จากบทความต่างๆ ในอดีตและปัจจุบันได้มีการกล่าวถึงเฉพาะในแง่ของการนำเข้างานระบบประสาทขนาดใหญ่ซึ่งมีความเหมาะสมในแง่ความถูกต้อง แต่ใช้เวลาในการเรียนรู้ นาน ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการควบคุมแบบทันที (Real-time control) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์การคำนวณเชิงอ่อน มาใช้สองส่วนด้วยกันโดยส่วนแรกใช้เพื่อตรวจหาการเอกลักษณ์ของวัตถุต่างๆ ที่ปรากฏในลำดับภาพวิดีโอ (Jaggi, 1997; Hartley และ Zisserman, 2003) และส่วนที่สองจะใช้การคำนวณเชิงอ่อนสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ ที่รู้ค่าและไม่รู้ค่าได้ (Hu, 1962; Mundy, 1992; Chin และ Dyer, 1986) นอกจากนี้ยังมีการใช้เซนเซอร์หลายชนิดร่วมกับการประมวลผลเชิงอ่อนเพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งสามารถเลียนแบบการเคลื่อนที่ซึ่งมีความสอดคล้องกับสิ่งโดยรอบได้เป็นอย่างดี (Choi และคณะ, 2007) ในปี 2011 Singh และคณะ เปรียบเทียบใช้การโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neuron Network) ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) และระเบียบวิธีพันธุกรรม (Genetic Algorithm) สำหรับควบคุมแขนกล Kinematics พบว่าการประมวลผลเชิงอ่อนแต่ละตัวมีข้อดีแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าอินพุตที่ได้รับและการนำไปประยุกต์ใช้

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ ระบบการคำนวณเชิงอ่อนนี้เพื่อการพัฒนาการมองเห็นของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อโอมิ (Omni wheel) ที่สามารถใช้ในการช่วยเหลือนักวิจัยภายในห้องปฏิบัติการทดลองเป็นหลักแล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์กับงานต่างๆ ได้เช่น ระบบตรวจสอบคุณลักษณะของโครงสร้างเชิงจุลภาพของวัตถุ ระบบตรวจจับใบหน้ามนุษย์ในระบบรักษาความปลอดภัยตามสถานที่ต่างๆ เป็นต้น (Pratt, 1991)

2. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

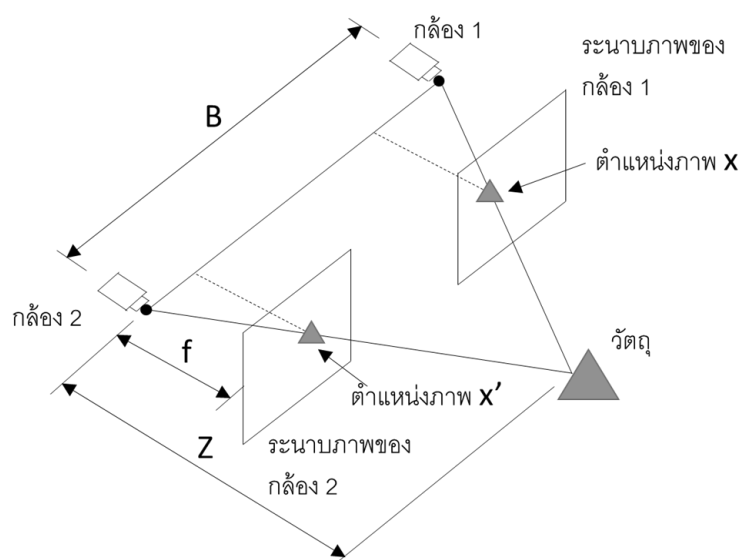
2.1 กรอบแนวคิด

งานวิจัยนี้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการมองเห็นของหุ่นยนต์ (machine vision) เพื่อการรับรู้และการทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมของหุ่นยนต์ โดยแบ่งงานเป็น 3 ส่วน กล่าวคือ ส่วนแรกเป็นส่วนพื้นฐาน ประกอบด้วย การใช้อัลกอริทึมใหม่ ๆ และการพัฒนาสแตนด์อะโลนเพื่อสังเคราะห์ข้อมูลจากฉาก (scene) และกล้องจับภาพ 2 ตัวที่จับภาพพร้อมกัน ส่วนที่สองเป็นการใช้ผลลัพธ์จากส่วนแรกเพื่อพัฒนาวิธีการ ในการทำความเข้าใจเนื้อหาของฉาก เช่น วิธีการตรวจหาเอกลักษณ์ของวัตถุต่างๆ ที่ปรากฏในลำดับภาพวิดีโอ วิธีการวิเคราะห์ภาพ 2 มิติเพื่อหาโครงสร้างเชิงเรขาคณิตของวัตถุ ส่วนสุดท้ายคือการพัฒนาวิธีการใหม่สำหรับนำส่วนที่

กล่าวถึงก่อนหน้านี้มาสังเคราะห์หาผลลัพธ์สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ให้มีความสามารถในการเคลื่อนที่ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ มีเป้าหมายให้ผลลัพธ์ที่ได้จากนี้ เป็นก้าวหนึ่งในการพัฒนาความสามารถในการรับรู้ของหุ่นยนต์เพื่อการใช้ประโยชน์ของเทคโนโลยีแขนงนี้ในรูปแบบอื่นในอนาคต

2.2 ทฤษฎีการหาความลึกของวัตถุในภาพ

การวิเคราะห์หาความลึกของวัตถุที่ปรากฏในภาพ จำเป็นที่ต้องรับข้อมูลภาพอย่างน้อยสองภาพ โดยนำภาพที่ได้รับจากกล้องด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งสามารถเปรียบเสมือนกับดวงตาทั้งสองของมนุษย์ จากนั้นภาพทั้งสองจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการประมวลผลภาพได้แก่ การทำ threshold, การแปลงระบบสี และการหา contour เป็นต้น กระบวนการดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อกำหนดจุดสนใจหรือวัตถุในภาพที่ต้องการหาความลึก หลังจากนั้นภาพทั้ง 2 จะถูกนำภาพมาซ้อนในตำแหน่งพิกัดเดียวกัน ซึ่งจะพบว่ามีส่วนของวัตถุในภาพซ้อนทับกันไม่สนิท จากปรากฏการณ์นี้ถูกนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบจำลองทางเรขาคณิตสำหรับภาพซึ่งเกิดจากกล้อง 2 ตัว

ดังนั้นความลึกของจุดที่วัตถุถูกโฟกัส (Z) สามารถคำนวณได้จากจากสมการที่ 1 โดยที่ x และ x' คือระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางของภาพวัตถุที่สนใจที่เกิดจากกล้อง 1 ด้านซ้ายและกล้อง 2 ด้านขวาตามลำดับโดยระยะจากภาพจะต้องทำการแปลงให้เป็นระยะจริงก่อนนำมาคำนวณ B คือระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเลนส์ของกล้อง 2 ตัวและ f ความยาวโฟกัสของกล้อง แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Z = \frac{Bf}{x - x'} \quad (1)$$

2.3 ทฤษฎีการหาขนาดของวัตถุเป้าหมาย

เมื่อกำหนดให้วัตถุมีขนาดใดๆ ที่ระยะของวัตถุและกล้องที่เพิ่มขึ้น ขนาดของวัตถุที่มองเห็นจะแปรผกผันกับระยะดังกล่าว จากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะพบว่าขนาดจริงของวัตถุจะขึ้นกับตัวแปร 2 ชนิด ประกอบด้วย ความลึกจริงของวัตถุและขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ ซึ่งปรากฏในรูปความสัมพันธ์สมการ 2 ตัวแปร

$$s = f(w, y) \quad (2)$$

โดย s คือ ขนาดจริงของวัตถุเป้าหมาย w คือขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ และ y คือระยะห่างระหว่างกล้องกับวัตถุ

2.4 ทฤษฎีการตรวจสอบคุณลักษณะของวัตถุ

การตรวจสอบคุณลักษณะโดยใช้เทคนิค Speed-Up Robust Feature ซึ่งพัฒนามาจาก Scale-Invariant Feature Transform เพื่อให้การตรวจสอบวัตถุมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการคำนวณหาจุดสนใจบนภาพ สร้างลักษณะบนจุดสนใจและทำการจับคู่ภาพที่มีลักษณะเหมือนกันกับภาพบนฐานข้อมูล ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนดังนี้

2.4.1.หาพื้นที่ที่สนใจ

กระบวนการหาพื้นที่ที่สนใจโดยใช้ เมทริกซ์เฮสเซียน ซึ่งเริ่มด้วยการหาขอบเขตของพื้นที่ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3

$$I_{\Sigma}(x) = \sum_{i=0}^{i \leq x} \sum_{j=0}^{j \leq y} I(x, y) \quad (3)$$

โดยที่ $I_{\Sigma}(x)$ คือพื้นที่ที่สนใจ โดยมีหน่วยเป็น pixel^2

เนื่องจากความเข้มของพิกเซลในแต่ละจุดที่ปรากฏในพื้นที่ที่สนใจมีความหลากหลายและยากแก่การนำไปวิเคราะห์และตัดสินใจ จึงปรับค่าเหล่านั้นให้มีความเรียบง่าย โดยใช้สมการที่ 4

$$H(x, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \sigma) & L_{xy}(x, \sigma) \\ L_{xy}(x, \sigma) & L_{yy}(x, \sigma) \end{bmatrix} \quad (4)$$

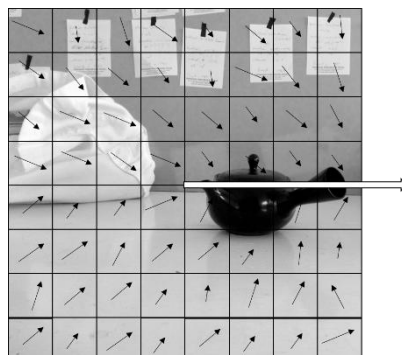
โดยค่า $H(x, \sigma)$ คือ เมทริกซ์เฮสเซียน $L_{xx}(x, \sigma)$ คือ คอนโวลูชันสำหรับเกาส์เซียนอนุพันธ์อันดับสอง $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ สำหรับภาพ I ณ ตำแหน่งที่ x ซึ่งทำนองเดียวกันกับค่า $L_{xy}(x, \sigma)$ และ $L_{yy}(x, \sigma)$

โดยค่าในแต่ละพิกัดหาได้จากความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ 5 ซึ่งเป็นการหาค่า $L_{xx}(x, \sigma)$ ที่อยู่ในพิกัด I, I

$$L_{xx}(x, \sigma) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma) * I(x) \quad (5)$$

2.4.2. การตรวจสอบคุณลักษณะ

ขั้นตอนนี้เป็นการคำนวณเพื่อระบุลักษณะของพื้นที่นั้นๆ โดยลักษณะนี้จะถูกนำไปใช้ในการตรวจสอบคุณลักษณะ การระบุลักษณะนี้ประกอบไปด้วยกระบวนการกรองโดยใช้ตัวแปลงเวฟเลตชนิดฮาร์ (Haar wavelet Filter) และ การหมุน (Orientation) ในการสร้างลักษณะบนพื้นที่ที่สนใจ โดยผลลัพธ์จะปรากฏในรูปแบบทิศทางของเวกเตอร์ซึ่งจะถูกนำเข้าสู่การประมวลผลเชิงอ่อนเพื่อใช้ตัดสินใจต่อไป (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ภาพผลลัพธ์ร่วมกันระหว่างการใช้ ตัวแปลงเวฟเลตชนิดฮาร์ (Haar wavelet Filter) และการหมุน(Orientation)

2.5 ทฤษฎีการประมวลผลเชิงอ่อน

การประมวลผลเชิงอ่อนเป็นกระบวนการเพื่อใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง ซึ่งไม่สามารถพิสูจน์ได้ในช่วงเวลาแบบโพลิโนเมียล อย่างเช่นปัญหาในกลุ่มเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-complete problem) โดยนำไปสู่การคิดค้นขั้นตอนวิธี (algorithm) เพื่อสำหรับแก้ไขปัญหานั้น ซึ่งขั้นตอนวิธีส่วนใหญ่ที่ถูกคิดค้นขึ้นเกิดจากการจำลองและเลียนแบบธรรมชาติ (Brownlee, 2001) เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neuron network), ขั้นตอนวิธีแบบฝูงสัตว์ (Swarm algorithm), ขั้นตอนวิธีแบบภูมิคุ้มกัน (Immune algorithm) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซพตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron) ในขั้นตอนการตัดสินใจเพื่อนำไปใช้ควบคุมการเดินของหุ่นยนต์ โดยสถาปัตยกรรมของเพอร์เซพตรอนหลายชั้นประกอบไปด้วย 1. ชั้น ซึ่งมีชั้นอินพุต (input layer) และชั้นเอาต์พุต (output layer) อย่างละ 1 ชั้น และต้องมีชั้นซ่อน (hidden layer) อย่างน้อย 1 ชั้น 2. จำนวนโหนด ซึ่งโหนดในชั้นอินพุตมีจำนวนเท่ากับตัวแปรที่รับเข้า โหนดในชั้นเอาต์พุต รูปแบบตัวแปรเอาต์พุตจะมีผลต่อจำนวนของโหนด และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนไม่มีการกำหนดอย่างชัดเจน ทั้งนี้โหนดในแต่ละชั้นจะมีการเชื่อมต่อไปข้างหน้าแบบทั้งถึง (Feed-Forward-connection) หรือแบบย้อนกลับ (Feedback connection) (จุฑกัทร เมฆพายุ และ กิดาการ สายธนม, 2554) ในแต่ละโหนดภายในชั้นซ่อนจะประกอบไปด้วยการคำนวณค่าอินพุตกับน้ำหนัก (weight) และไบแอส (bias) ภายได้ฟังก์ชันการส่งผ่านเช่น ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบ hard limit, sigmoid และ Radial Basis เป็นต้น อย่างไรก็ตามสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 6

$$\text{output} = f((\text{weight} \times \text{input}) + \text{bias}) \quad (6)$$

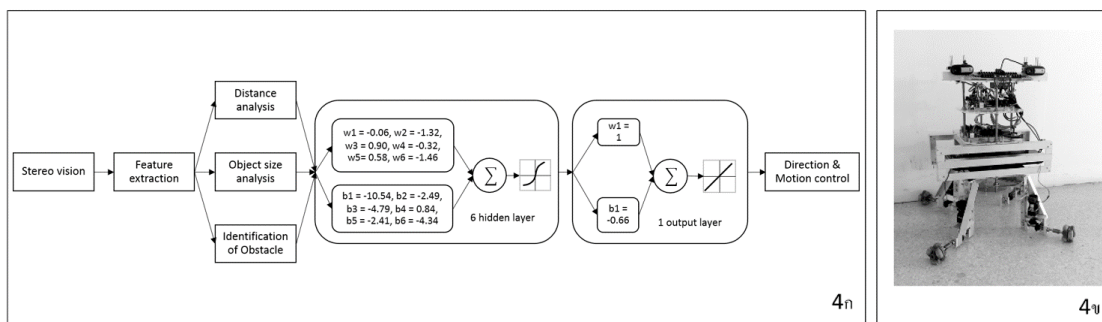
3.วัตถุประสงค์ของการวิจัย

3.1 เพื่อพัฒนาหลักการและวิธีการที่รวมเอาข้อดีทางเทคนิคการคำนวณเชิงอ่อนในการประมวลผลภาพจากกล้องมาใช้ในการมองเห็นของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ

3.2 เพื่อพัฒนานวัตกรรมหุ่นยนต์ให้มีสมรรถนะมากกว่าเดิมทำให้เกิดการนำไปใช้งานเพิ่มขึ้นในห้องปฏิบัติการทดลองต่างๆ

4.วิธีการดำเนินวิจัย

แบบกรอบแนวความคิดสำหรับการออกแบบและจัดสร้างระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยการคำนวณเชิงอ่อน โดยทำการออกแบบระบบโดยอาศัยกล้องดิจิทัลเป็นอุปกรณ์นำภาพที่มีวัตถุกับการประมวลผลสัญญาณภาพในการระบุประเภทของวัตถุ ซึ่งระบบจะทำการคัดเลือกหรือตัดสินใจโดยอาศัยหลักการของการคำนวณเชิงอ่อน ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในภาคการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 (ก-ข) แผนภาพความคิดสำหรับการออกแบบ (4ก) และจัดสร้างระบบ (4ข)

จากภาพที่ 4ก โดยเริ่มจากการรับภาพจากกล้องทั้ง 2 ตัว จากนั้นภาพจะถูกนำเข้าสู่วิธีการแยกคุณลักษณะ (Feature Extraction) แล้วนำเข้าสู่วิธีการ Soft-computing ซึ่งประกอบไปด้วย การวิเคราะห์หาระยะวัตถุ การวิเคราะห์หาขนาดของวัตถุและการระบุชนิดของวัตถุ จากนั้นจะนำผลลัพธ์ที่ได้ไปควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และจากภาพที่ 4ข คือภาพของหุ่นยนต์ต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นเพื่องานวิจัยนี้

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์การหาความลึกของวัตถุ

การหาความลึกของวัตถุ กล้องดิจิทัลขนาดเล็กทั้งสองตัวถูกติดตั้งให้ห่างกันเป็นระยะ 24 เซนติเมตร เมื่อนำทฤษฎีการหาความลึกที่กล่าวไปจัดเตรียมร่วมกับการประมวลผลภาพในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดระยะที่ทราบของวัตถุที่ระยะต่างๆ เพื่อทำการเก็บค่าความลึกที่ตรวจวัดได้ในแต่ละระยะที่กำหนด จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้น และนำค่าความลึกที่ได้จากโปรแกรมซึ่งเป็นที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้เข้ากระบวนการปรับค่าให้เป็นระยะจริง ตามภาพที่ 5

4.2 ขั้นตอนการหาขนาดของวัตถุ

จากทฤษฎี มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ตัวแปร ขนาดจริงของวัตถุ (s) ความลึกที่แท้จริง (y) และขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ (w) นำวัตถุที่ทราบขนาดจริงและวางวัตถุที่มีระยะห่างที่แน่นอน ในช่วง 1-5 เมตร จากนั้นในส่วนหนึ่งของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะคำนวณขนาดของวัตถุที่มองเห็นบนภาพในหน่วยพิกเซล โดยทำการเปลี่ยนขนาดจริงของวัตถุและความลึกหรือระยะห่างให้มีค่าที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 1

4.3 ขั้นตอนการระบุการตรวจสอบคุณลักษณะของวัตถุของสิ่งกีดขวาง

จากทฤษฎีการระบุลักษณะด้วยกระบวนการกรองโดยใช้ตัวแปลงเวฟเลตชนิดฮาร์ (Haar wavelet Filter) และการหมุน (Orientation) โดยพัฒนาจากโปรแกรม C# ร่วมกับ library EMGU (Shi, 2013) เพื่อทำการระบุชนิดของสิ่งกีดขวาง 3 ชนิด 1. สามเหลี่ยม 2. สี่เหลี่ยม และ 3. หกเหลี่ยม ซึ่งเมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบชนิดสิ่งกีดขวาง หุ่นยนต์จะถูกกำหนดให้เดินไปทางขวา เดินไปทางซ้ายและหยุดตามลำดับ

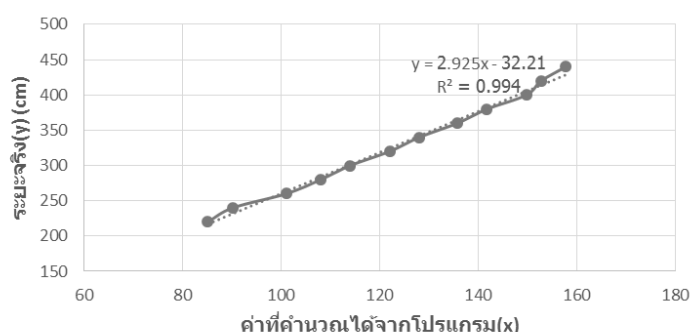
4.4 ขั้นตอนการตัดสินใจด้วยการประมวลผลเชิงอ่อน

หลังจากผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์หาความลึก ขนาดและการตรวจสอบคุณลักษณะของวัตถุ ค่าเหล่านั้นจะใช้เป็นค่าอินพุต สำหรับหาค่าน้ำหนัก (weight) กับไบแอส (bias) ของเพอร์เซพตรอนหลายชั้น (Multilayer perceptron) โดยใช้โปรแกรม Matlab ซึ่งปรับจำนวนชั้นซ่อน (hidden layer) เป็น 6 ชั้น หลังเสร็จสิ้นกระบวนการจะได้ค่าน้ำหนักและไบแอส เพื่อใช้สำหรับเขียนโปรแกรมตัดสินใจของหุ่นยนต์

5. ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองของการหาระยะของวัตถุ

จากขั้นตอนในหัวข้อ 4.1 สามารถแสดงความสัมพันธ์ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกที่วัดได้จากโปรแกรมและความลึกแท้จริง

จากความสัมพันธ์ดังภาพที่ 5 จะได้สมการความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$y = 2.925x - 32.21 \quad (7)$$

เมื่อ x แทนความลึกที่วัดได้จากโปรแกรม และ y แทนความลึกแท้จริงระหว่างหุ่นยนต์กับวัตถุในหน่วยของเซนติเมตร จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวมาเป็นหนึ่งในตัวแปรต้นในการหาขนาดของวัตถุ โดยสามารถระบุระยะของวัตถุได้อย่างถูกต้องที่ 2.0- 4.0 เมตร ซึ่งระยะดังกล่าวเป็นระยะที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ เนื่องจากเป็นระยะนอกเหนือความสามารถของเซนเซอร์ชนิดอื่น เช่น อินฟราเรด อัลตราโซนิก (ที่สภาวะตัวกลางเป็นอากาศ)

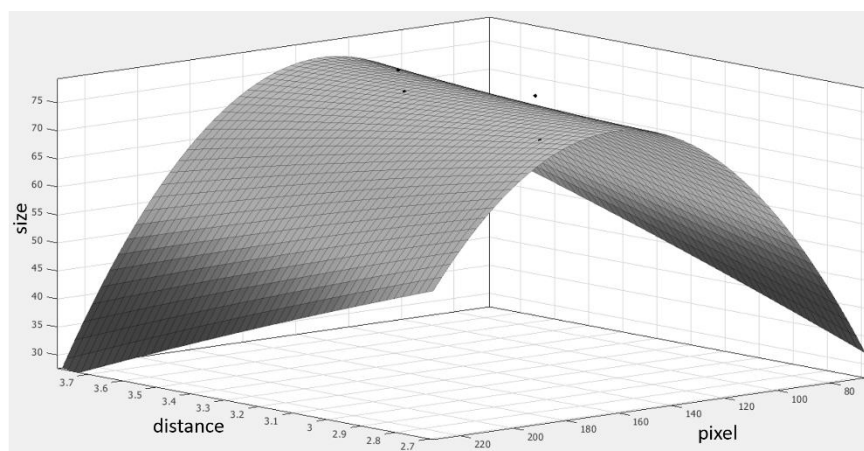
5.2 ผลการทดลองของการหาขนาดของวัตถุ

ตารางที่ 1 ผลการทดลองแสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดจริงของวัตถุ (s) ความลึกที่แท้จริง (y) และขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ (w)

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาดวัตถุจริง ความลึกแท้จริง และขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ

ขนาดวัตถุจริง (cm)	พิกเซลเฉลี่ยที่วัดได้ในแต่ละระยะห่างจากวัตถุ					
	2.6 m	2.8 m	3 m	3.2 m	3.4 m	3.6 m
29	66.5	62.5	57.25	49.75	44.25	36.75
38	74.25	67.5	64	60.25	56.5	51.75
76	185.5	175.5	147.5	162.25	149.25	125.75

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 สามารถสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง พิกเซล ระยะ และขนาดจริงของวัตถุ

จากกราฟในภาพที่ 6 สามารถสร้างความสัมพันธ์ในรูปของฟังก์ชันสองตัวแปรดังนี้

$$z = -0.6916w^2 - 0.004481y^2 - 0.2426wy + 41.27w + 2.146y - 153.4 \quad (8)$$

เมื่อนำวัตถุที่มีขนาดใดๆ โปรแกรมจะให้ค่าผลลัพธ์ของ ความลึกและขนาดของวัตถุ (pixel) ค่าดังกล่าวจะถูกแทนในค่า w และ y ดังสมการที่ 7 ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์เป็นขนาดจริงของวัตถุ (s)

5.3 ผลการทดลองของการจดจำชนิดของสิ่งกีดขวาง

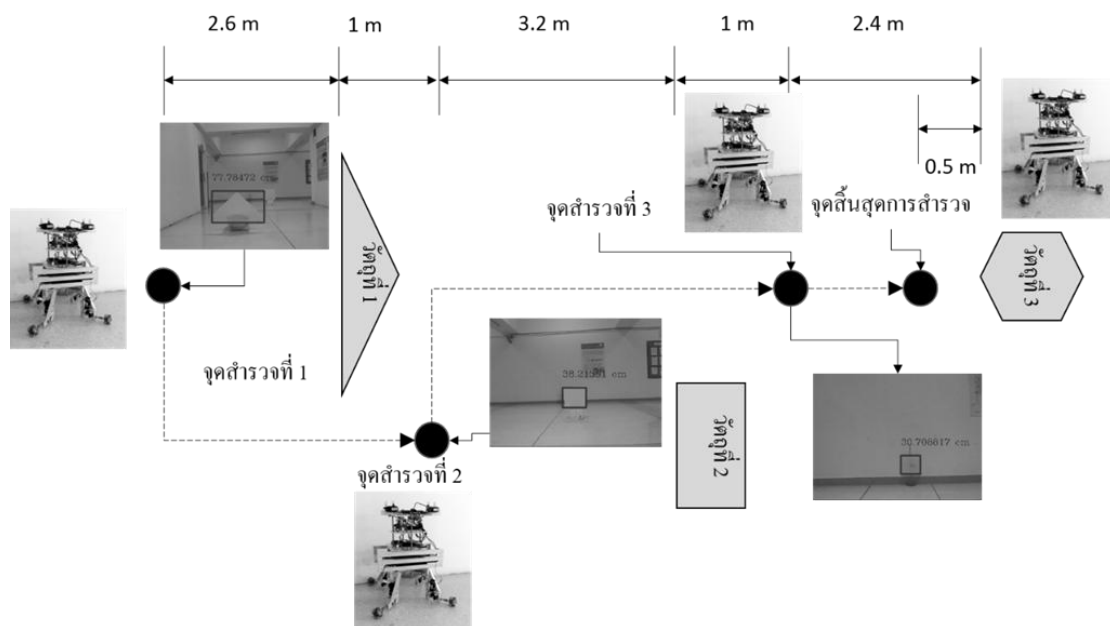
ผลการระบุการตรวจสอบคุณลักษณะของวัตถุของสิ่งกีดขวางพบว่า หุ่นยนต์สามารถจดจำชนิดและใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแสดงค่าความผิดพลาด (error) ของการจดจำวัตถุ สามเหลี่ยม สีเหลี่ยม หกเหลี่ยม เป็น 13.47, 12.31 และ 9.25 ตามลำดับดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการระบุขนาดและการจดจำชนิดสิ่งกีดขวาง

วัตถุ	ความกว้างจริง (cm)	ความกว้างเฉลี่ยที่วัดได้ (cm)	%error ของความกว้างวัตถุ	ผลตอบสนอง	%error ของผลตอบสนองของหุ่นยนต์
สามเหลี่ยม	76	75.3	0.92	เลี้ยวขวา	13.47
สี่เหลี่ยม	38	39.1	2.89	เลี้ยวซ้าย	12.31
หกเหลี่ยม	29	30.2	4.14	หยุด	9.25

5.4 ผลการตอบสนองของหุ่นยนต์ต่อสิ่งกีดขวาง

จากผลการทดลองที่ 5.1 5.2 และ 5.3 ถูกนำไปใช้ป้อนค่าอินพุตสำหรับการหาค่าน้ำหนักและไบแอส ได้ค่าน้ำหนักของชั้นซ่อนเป็น -0.06, -1.32, 0.90, -0.32, 0.58, -1.46 และไบแอสเป็น -10.54, -2.49, -4.79, 0.84, -2.41, -4.34 โดยเรียงจากชั้นซ่อนที่ 1-6 และชั้นเอาพุตได้ค่าน้ำหนักเท่ากับ 1 และค่าไบแอสเป็น -0.66 แสดงดังภาพที่ 4ก โดยค่าเหล่านี้ถูกนำมาใช้โปรแกรมทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบ พบว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ต้นแบบเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการตอบสนองของหุ่นยนต์ต่อสิ่งกีดขวาง

6.อภิปรายและสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า ในการวิเคราะห์หาระยะทางระหว่างวัตถุและหุ่นยนต์แบบสามารละระยะระยะได้ถูกต้องในช่วง 2.0 – 4.0 เมตร ในการวิเคราะห์หาขนาดวัตถุจริงโดยใช้กล้องสองตัว มีระยะระหว่างจุดกึ่งกลางเลนส์ห่างกัน 24 ซม. จะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำในช่วงระยะห่างที่ 2.6-3.4 เมตร ซึ่งสาเหตุเกิดจากความละเอียดของกล้อง สำหรับผลการทดลองจดจำชนิดของสิ่งกีดขวางแสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 9.25 ถึง 13.47 ดังนั้นเมื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปใช้เขียนโปรแกรมตัดสินใจและทดสอบโปรแกรมจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบพบว่ามี การตอบสนองได้อย่างถูกต้อง

7.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวรสำหรับการสนับสนุนงบประมาณและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับการเอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่ทำวิจัย

8.รายการอ้างอิง

จุฑาทิร เมฆพาชีพ และ กิดาการ สายชน. 2554. “สมรรถนะของข่ายงานระบบประสาทแบบ Multi-Layer Perceptron และ Radial Basis Function สำหรับแผนภูมิควบคุมคุณภาพหลายตัวแปร”. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 16, 97-106.

Ashish Ghosh, Sankar K. Pal. 2002. **Soft Computing approach to pattern recognition and image processing**. Washington, D.C.: World Scientific Publishing Co, Pte. Ltd.

- Gurjeet Singh, Dr. V. K. Banga, Jasjit Kaur. "Robotic Arm Kinematics and Soft Computing". **International Conference on Advances in Electrical and Electronics Engineering (ICAEE'2011)**, 189-193.
- Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars and Luc Van Goll. 2008. "Speeded-up Robust Feature (SURF)". **Computer Vision and Image Understanding**, 110, 346-359.
- Jason Brownlee. **Clever Algorithms**, 1st edition, Australia: LuLu.
- J.L. Mundy, A. Zisserman (Eds.). **Geometric Invariance in Computer Vision**. MA: MIT Press Cambridge.
- M.K. Hu, Visual. 1962. "Pattern recognition by moment invariants" **IRE Trans. Inf. Theory**, 8, 179-187.
- Richard Hartley and Andrew Zisserman. 2003. **Multiple view geometry in computer vision**, 2nd Edition United Kingdom: Cambridge University press.
- R. S. Choras. 2006. **Content-Based Image Retrieval-A**. Survey Biometrics Computer Security Systems and Artificial Intelligence Applications. United States of America: Springer US.
- R.T. Chin and C.R. Dyer. 1986. "Model-based recognition in robot vision". **ACM Computing Surveys**, 18, 67-108
- Shin Shi. 2013. **Emgu CV Essentials**. 1st edition. United Kingdom: Packt Publishing.
- S. Jaggi. 1997. "Multiscale geometric feature extraction and object recognition", MIT PhD Thesis.
- Woo-Kyung Choi, Seong-Joo Kim and Hong-Tae Jeon. 2007. **Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots**: Austria, I-Tech.
- W.K. Pratt. 1991. **Digital Image Processing**. 2nd Edition. New York: Wiley.

ส่วนประกอบทางเคมีและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของกะปิชุมชนในจังหวัดระนอง
CHEMICAL COMPOSITION AND PACKAGING DEVELOPMENT
OF LOCAL FERMENTED SHRIMP PASTE IN RANONG PROVINCE

สราวุธ เดชมณี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

E-mail : Geoff452@gmail.com

บทคัดย่อ

ส่วนประกอบทางเคมีและการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ได้ทำขึ้นเพื่อกะปิชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดระนอง จุดประสงค์ของงานนี้เพื่อให้กะปิชุมชนมีคุณภาพ ง่ายต่อการใช้และสะดวกต่อผู้บริโภค กะปิได้รับการผลิตในครัวเรือนของชุมชนจังหวัดระนอง ภาคใต้ของประเทศไทย ผลิตภัณฑ์บรรจุเป็นก้อนขนาด 20 กรัม โดยออกแบบบรรจุภัณฑ์เปลี่ยนจากการบรรจุในถุงพลาสติกธรรมดาบรรจุในกล่องกระดาษที่ห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียม ส่วนประกอบทางเคมีที่บอกค่าการวิเคราะห์โดยปริมาณ พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักเท่ากับ 30.93 กรัม โปรตีนเท่ากับ 22.34 กรัม โซเดียมเท่ากับ 10.91 กรัม ไขมันทั้งหมดเท่ากับ 8.71 กรัม น้ำตาลเท่ากับ 2.94 กรัมและเถ้าเท่ากับ 21.41 กรัม ปริมาณน้ำอิสระในกะปิวิเคราะห์ได้มีค่า 0.64 ซึ่งปริมาณนี้ไม่มีผลต่อการคิดเชื้อจากจุลินทรีย์ ที่พบว่ามีความชื้นต่ำที่ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.85 การทดสอบการยอมรับของบรรจุภัณฑ์โดยใช้แบบสอบถามลิเคิร์ต ผลพบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบบรรจุภัณฑ์แบบใหม่นี้ จึงมีผลสรุปว่าผลิตภัณฑ์ชนิดนี้พร้อมที่จะขายสู่ตลาดได้

คำสำคัญ : ส่วนประกอบทางเคมี, การพัฒนาบรรจุภัณฑ์, กะปิ

ABSTRACT:

Chemical composition and packaging development of shrimp paste were done for a local shrimp paste in Ranong province. The objective of this work was to evaluate the effect of shrimp paste product to reach the quality, easily to use and convenience for consumer. The shrimp paste or kapi was obtained from a local home-based factory in Ranong Province, the southern part of Thailand. The cube of product was set at a 20 gram. Then, the packaging design was changed from normal plastic bag to a new one which covering with aluminum foil and paper. The chemical composition in shrimp paste was presented on the proximate composition, carbohydrate at 30.93 gram was the main component, in particular with protein at 22.34 gram, sodium at 10.91 gram, total fat at 8.71 gram, sugar at 2.94 gram, and ash at 21.41 gram. Free water of kapi was also detected at

0.64. It was mentioned that it had not infect with microorganism, according to the limit range at above 0.85 for standard free water. The acceptability test of packaging was using the Likert scale questionnaire. The result was shown that most of consumers mostly like with the new designed packaging. It is pointing that this product is ready for commercial.

KEYWORDS:, Chemical composition, Packaging development, Fermented shrimp paste

1. INTRODUCTION

In Thailand, there are various types of traditional fermented food such as shrimp paste, soy sauces, sausage, and som-fug (fish mince) (Siriporn et al., 2004, Chasco et al., 1993). However in Thai food, “Kapi” shrimp paste is highly popular. Shrimp paste is either in dark brown, gray or red, and has a various taste with strong aroma. It is consumed widely in Thai kitchen as a component in Thai hot curry. Therefore the quality of local fermented food was quite not reported. The method of manufacturing shrimp paste may different depending on the factory. For example, small salted shrimps mixed with salt are dried under the sun for one or two days, and then ground into fine paste, and allowed to ferment in the jar for 10 days. Then processed for packaging, normally in plastic bags, or kept in small jar, selling in the market by small retailer. In the present study, we prepared shrimp paste into small pieces of suitable size, designed a new packaging, characterized the chemical composition, and made the label. It is mainly useful information for marine fermented food customer.

2.OBJECTIVES

2.1 To determine the chemical composition of a local shrimp paste.

2.2 To evaluate the effect of shrimp paste product to reach the quality, easily to use and convenience for consumer.

3. METHODS

3.1 Sample

“Kapi” shrimp paste sample was obtained from only one local home-based factory in Ranong Province, the southern part of Thailand in January 2014. It was used for making a cube and analysis of chemical composition, to reach quality and ready for commercial.

3.2 Proximate Composition

Proximate analysis was conducted to determine the micronutrients in each sample. Moisture content was measured following AOAC methods (AOAC (Association of Analytical Chemists), 2000). Briefly, triplicates of shrimp paste samples were oven-dried at 105 °C for 3 h, transferred to a desiccator, and then

allowed to cool at room temperature. The sample weights were recorded on a digital balance (Sartorius, USA). Repeat until the stable weights were found.

Ash, crude protein, sodium, total fat, and sugar contents were determined by AOAC methods (Association of Analytical Chemists, 2000).

Ash content was determined by weighing samples before and after heat treatment (105°C for 30 min), repeat until constant weight, and heat in furnace ($500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ for 3 hr). And then allow to cool at room temperature. The sample weights were recorded on a digital balance (Sartorius, USA).

Crude protein was assessed by the micro-Kjeldahl method, with nitrogen to protein conversion factor of 6.25 (AOAC method 976.05).

Sodium was measured by Mohr method. It is well-known method for the volumetric determination of halide, using potassium chromate as indicator. Sodium was detected when chlorides to be determined.

Total fat was measured by extraction with Soxhlet apparatus, using petroleum ether as solvent.

Sugar was analyzed by Lane-Eynon. The reaction is based on the reaction between copper(II) ion and reducing sugar. The interaction is particularly complex. It is a quantitative but non-stoichiometric reaction, where the sugar is oxidized to a number of different species, and copper(II) ion is reduced to copper(I) ion, which forms a red-colored precipitate. In these methods the reaction is performed at the boiling point of the solution in order to achieve the sugar's highest reducing power.

Carbohydrate content (g/100 g DW) was calculated by subtracting the sum of percent crude protein, lipid, moisture and ash contents from 100.

3.3 Packaging

The fermented shrimp paste sample was packed with aluminum foil in paper box. Firstly, sample was sliced perpendicular to the long axis. And then, sample was placed in the cubic block, at 2 gram of weight. Aluminum foil will protect the moisture and get rid strong aroma. On the paper box the labels were printing. The packaging was evaluated for acceptance by a untrained 100 students in Dhurakij Pundit University, Thailand. The Likert scale questionnaire was used for the acceptability test of packaging. A five –point scale, in which a score of 1=Strongly disagree, 2=Disagree, 3=Neutral, 4= Agree and 5-Strongly agree, was used for evaluation. (Patrick W. et al., Usability Evaluation in Industry, Taylor&Francis Ltd, USA. 1996).

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Proximate Composition

Chemical composition of shrimp paste are shown in Table 1. Shrimp paste contained carbohydrate at 30.93 gram, in particular with protein at 22.34 gram, sodium at 10.91 gram, total fat at 8.71 gram, sugar at 2.94 gram, and ash at 21.41 gram. The result indicated that shrimp paste had a highly nutrition. It could be the best source of protein and carbohydrate. Normally protein content was quite affected by the proportion of small

shrimp used. Furthermore, free water was also detected at 0.64, with normally content of salts. With reference to the Malaysian Food Act. (2004), the amount of salt is lower than the standard value which is 15% for all processes shrimp paste. Normally in manufacturing sodium chloride was used as a salt. Sodium chloride is very important according to the fermented process of food. Sodium chloride is also promote flavor, and to lower water activity. The lower water activity related to lower moisture. It helps to control microbial growth, to prove for a safety fermented food.

Table 1 Proximate Composition of Thai local kapi

Analyte	Mean per 100 g	S.D.
Moisture,g	16.61	0.51
Protein,g	22.34	0.00
Sodium,mg	10.02	0.04
Total fat,g	8.71	0.27
Sugar,mg	2.94	0.02
Ash,g	21.41	0.71
Carbohydrate,g	30.94	0.58

Thai Standard for Shrimp Paste, 1992.Food Act 1992(Act 1080-1992) & Regulations, Ministry of Industry, expressed the standard for shrimp paste should not contain less than 36 % of salt, and moisture not above 45%. And the Malaysian Food Act 1983. (Act 1983) and Regulation, states that shrimp paste should not contain less than 15% of salt and 25% of protein and should not contain more than 40% of water and 35% of ash. As compared to the standard value in the Food Act, this shrimp paste sample did comply with all standard values, accept the salt value. Ash value represents a high level of minerals in this food product, related to the salt content. The salt content is quite low, it may set targets to reduce salt consumption. It is now clearly established that over-consumption of salt, mainly sodium chloride, NaCl, is the second highest risk factor for hypertension after obesity (Jacobson, 2005). It was to investigate the potential of an instrumental taste-sensing system to distinguish between shrimp processing by-products salt content. It showed that saltiness sensor outputs were correlated with conductivity and sodium content. (Imelda and Eunice, 2014). The moisture level in shrimp paste was also limited to prevent microbial contamination and to prolong the shelf-life of this product. The shelf life of shrimp paste product is influenced by several factors, such as initial microbiological quality. The moisture content is normally related to that case. It is believed that the product will be safe at low moisture or free water at below 0.85. The moisture contents obtained in this study were similar to those reported by Sharif, R., et al, at 36.70±2.40%. And the effects of amount of free water at 0.64 indicated that local shrimp paste was the good product for customer.

4.2 Packaging

The fermented shrimp paste sample was packed with aluminum foil in paper box, shown as in Figure 1.



Figure 1 A cube of Thai shrimp paste was packed with aluminum foil in paper box

The acceptability test of packaging was using the Likert scale questionnaire. Respondents used a Likert scale to evaluate the new designed packaging compared to the old one, in normal plastic bag. The result was depicted in Table 2.

Table 2 Likert scale to evaluate the new designed packaging compared to the old one

Level	Total
Strongly agree	88%
Agree	12%
Neutral	0
Disagree	0
Strongly disagree	0

The result showed that the most of consumers strongly agree with the new designed packaging at 88 %, and agree at 12 %. When tested against the old packaging, the validity of the new designed packaging was satisfactory and the associations between the scales and a suitable variables known to be associated with well-being, were stronger for the new designed packaging than for the the old packaging. The packaging optimization strategies such as varying pack sizes to help consumers buy the right amount, and design packaging to maintain food quality and increase its shelf life have been proposed to reduce food waste (European Commission, 2012a). This packaging was set at 20 gram in weight, suitable to put in curry.

5. CONCLUSION

The rich amount of carbohydrate, protein levels make many wild-grown shrimp paste as the good food for the consumer. In view of the current situation, the research of these components is deficient. We ought

to identify more components, especially quantity of salt, to ensure the safety of consumer. In order to preserve the nutrients further, more complete and effective storage methods should be done. The new packaging is used for the development of Thai shrimp paste in local market. And it was confirmed that this product is good for health, easily to use and convenience for consumer.

6. RECOMMENDATION

The chemical composition of this local shrimp paste could be done for future experiment, according to the over-consumption of salt, mainly sodium chloride, NaCl. It is the highest risk factor over-consumption of salt, mainly sodium chloride, NaCl. Today, it is the second highest risk factor for hypertension after obesity, concerned in many food.

7. REFERENCES

- AOAC (Association of Analytical Chemists).2000. **Official methods of analysis** 17th ed. Gaithersburg, MD, USA: AOAC International.
- Chasco, J., Beriain, M.J., and Bello, J. 1993. A study of changes in the fat content of some varieties of dry sausage during the curing process. **Meat Science**. 34: 191-204.
- European Commission (2012a). Regulation (EU) No 528/2012 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. **Official Journal of the European Union**, L167: 1–123.
- Imelda W.Y. C., and Eunice C.Y. L-C. 2014. Application of taste sensing system for characterisation of enzymatic hydrolysates from shrimp processing by-products. **Food Chemistry**, 145(15): 1076-1085.
- Jacobson, M.F.(2005).**Salt:theforgottenkiller** C. ft.S.i.t.p.interest. Washington DC.
- Malaysian Food Act, 2004.**Food Act 1983(Act 281) & Regulations**, International Law Book Services, Kuala Lumpur.
- Patrick ,W.J., Thomas B., Weerdmeester,B.A., McClelland, I.L.1996.**Usability Evaluation in Industry**, Taylor&Francis Ltd, USA.
- Sharif, R., Ghazali, A.R., Rajab, N.F., Haron, H., and Osman, F. 2008. Toxicological evaluation of some Malaysian locally processed raw food products. **Food and Chemical Toxicology**. 46: 368-374.
- Siriporn R., Soottawat B., Wonnop V., Kongkarn K., and Munehiko T. 2004. Some characteristics of commercial Som-fug produced in Thailand. **Food Chemistry**, 88(4): 527-535.
- Standard for Shrimp Paste, 1992.**Food Act 1992(Act 1080-1992) & Regulations**, Ministry of Industry, Bangkok.

**การพยากรณ์ผลการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ
จากผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วิชาการพยาบาลและผลงานวิธีการเรียนแบบนำตนเอง
PREDICTING PASSED NATIONAL LICENSE EXAMINATION BY
ACHIEVEMENT OF NURSING SUBJECTS AND INTEGRATED SELF-
DIRECTED LEARNING**

กิตติยา สมุทรประดิษฐ์

อาจารย์ คณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์

E-mail : kitiya1878@hotmail.com

ละอียด แจ่มจันทร์

อาจารย์ คณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์

E-mail : laiad76@hotmail.com

วีระยุทธ พิมพาภรณ์

อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

E-mail : werayut.scisrc@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ (Prediction Model) ผลการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ จากผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วิชาการพยาบาลและผลงานวิธีการเรียนแบบนำตนเอง โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล (Data Mining) ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองได้จากการดำเนินการทำข้อสอบเสมือน Pre- Post test และเกรดจากรายวิชาการพยาบาลในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ 2551 ซึ่งถือว่าเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญในกระบวนการจัดการศึกษาพยาบาลตามเกณฑ์รับรองสถาบันของสภาการพยาบาล และเกณฑ์การประกันคุณภาพในระดับอุดมศึกษา

ผลการวิจัยพบว่า ตัวแบบพยากรณ์ซึ่งได้จากผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วิชาการพยาบาลและผลงานวิธีการเรียนแบบนำตนเอง สามารถค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างเกรดของรายวิชาในหลักสูตรพยาบาลกับการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ จำนวน 8 วิชา ได้แก่ 1) ผดุงครรภ์ 2) การพยาบาลมารดาทารก 3) การพยาบาลผู้ใหญ่ 4) การพยาบาลผู้สูงอายุ 5) การพยาบาลอนามัยชุมชนฯ 6) การพยาบาลสุขภาพจิตฯ 7) การพยาบาลเด็กฯ และ 8) กฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์และจรรยาบรรณวิชาชีพ และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: การสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาต ผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้วิชาการพยาบาล การเรียนแบบนำตนเอง
เหมืองข้อมูล

ABSTRACT

The purpose of this research was to develop the prediction model for predicting passed national license examination by achievement of nursing subjects and integrated self-directed learning using data mining technique. The data used to create prediction model were gathered from the learner's pre-post test scores and grades from nursing courses in Bachelor of Nursing Science Program, Academic Year 2008. This can be considered as the important results in the Nursing Education, according to the criteria of Thailand Nursing Council and the Institute of Quality Assurance in Higher Education.

The results showed that prediction model by achievement of nursing subjects and integrated self-directed learning investigated the relationship between the grade of nursing courses and passed national license examination of 8 subjects, including 1) Midwifery 2) Maternal and Newborn Nursing 3) Adult Nursing 4) Geriatric Nursing 5) Community Health Nursing 6) Psychiatric Nursing 7) Child & Adolescent Nursing 8) Laws, Ethics and Professional Ethics.

KEYWORDS: National License Examination, Achievement of Nursing, self-directed learning, data mining

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาการพยาบาล ซึ่งเป็นองค์กรวิชาชีพหลักของประเทศได้เริ่มจัดการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ขึ้นหนึ่งมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 โดยจัดให้มีการทดสอบมาตรฐานเพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ จำนวน 8 รายวิชาที่เป็นสาระสำคัญของหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต คือ การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น การพยาบาลผู้ใหญ่ การพยาบาลผู้สูงอายุ สุขภาพจิตและการพยาบาลจิตเวช การพยาบาลแม่และเด็ก การพยาบาลอนามัยชุมชนและการรักษาเบื้องต้น การผดุงครรภ์ กฎหมายและจริยธรรม (ปัจจุบันรวมการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ การพยาบาลแม่และเด็กและการผดุงครรภ์ รวมเป็น 6 วิชา) โดยนำผลการสอบผ่านครั้งแรกทั้ง 6 วิชา ร้อยละ 70 ของผู้สำเร็จการศึกษาแต่ละปีมาเป็นเกณฑ์สำคัญในการรับรองสถาบันการศึกษาพยาบาล ซึ่งในอดีตผลการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ ของผู้สำเร็จการศึกษาของคณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์ในระหว่างปี พ.ศ. 2547-2552 มีผลต่ำกว่าเกณฑ์ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพบัณฑิตและระยะเวลาการรับรองสถาบันลดลง นอกจากนั้นยังส่งผลกระทบต่อวิชาชีพและสังคม

การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับผลการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตพบว่า ผลการเรียนรู้จากเดิมเฉลี่ยสะสมของรายวิชาในหลักสูตร การเตรียมความพร้อมให้นักศึกษา รวมทั้งแรงบันดาลใจต่อความสำเร็จ มีความสัมพันธ์ทางบวกต่ออัตราการสอบผ่านแต่ยังไม่มี การสืบค้นว่าผลการเรียนในรายวิชาการพยาบาล 31 รายวิชา สามารถทำนายอัตราการสอบผ่านได้หรือไม่

การทำเหมืองข้อมูล (Data mining) ถือได้ว่าเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงอย่างหนึ่ง เป็นขั้นตอนวิธีในการวิเคราะห์และสังเคราะห์องค์ความรู้ซึ่งซ่อนอยู่ในข้อมูล อีกทั้งเทคนิควิธีเหมืองข้อมูลยังมีวัตถุประสงค์สำคัญในการแปลงองค์ความรู้ให้อยู่ในรูปแบบของ ฐานความรู้ (Knowledge base) (Frawley, Piatetsky-Shapiro, and Matheus 1992; Fayyad 1997) ซึ่งถือเป็นรากฐานสำคัญในการประยุกต์ใช้งานด้านต่าง ๆ การทำเหมืองข้อมูลจึง

ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษาอย่างแพร่หลาย (Sachin and Vijay 2012) ซึ่งเทคนิคที่ได้รับความนิยม และมีความน่าสนใจได้แก่ เทคนิคการจำแนกข้อมูล (Classification) ซึ่งถือได้ว่าเป็นการแบ่งประเภทของข้อมูล โดยการแบ่งข้อมูลทำได้โดยการใช้ชุดฝึกฝน (Training Data Set) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่ใช้สำหรับอธิบายและแบ่งประเภทข้อมูล ใช้สำหรับการสร้างต้นแบบ (Model) (Witten, Frank, & Hall, 2011)

งานวิจัยครั้งนี้ เป็นการสกัดองค์ความรู้ซึ่งซ่อนอยู่ในชุดข้อมูลผู้เรียนในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ 2551 โดยผู้เรียนทั้งหมดผ่านการเรียนรายวิชาการพยาบาล 31 รายวิชา ซึ่งมีเนื้อหาสอดคล้องกับการทดสอบมาตรฐานเพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ จำนวน 8 รายวิชา ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยนำเทคนิควิธีเหมือนข้อมูลมาใช้ในการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ (Prediction Model) ผลการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ ซึ่งจัดการสอบโดยสภาการพยาบาล โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างผลสัมฤทธิ์การเรียนวิชาการพยาบาลในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ 2551 กับชุดข้อสอบเสมือนการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ 8 รายวิชา ที่มีการออกแบบให้สอดคล้องกับแนวทางการสอบจริงของสภาการพยาบาล โดยชุดข้อสอบเสมือนจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการเรียนรู้แบบนำตนเองของผู้เรียน ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลผู้วิจัยใช้ค่าคะแนนการทำข้อสอบเสมือน Pre- Post test และเกรดจากรายวิชาการพยาบาลในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ 2551 ในการวิเคราะห์เป็นสำคัญ เนื่องจากข้อมูลทั้ง 2 ส่วนถือได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่สำคัญในกระบวนการจัดการศึกษาตามเกณฑ์รับรองสถาบันของสภาการพยาบาลและเกณฑ์การประกันคุณภาพในระดับอุดมศึกษา

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อนำเทคนิคการทำเหมือนข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบการจัดการศึกษาในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองการพยากรณ์ผลการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ จากผลสัมฤทธิ์การเรียนวิชาการพยาบาลและผลงานวิธีการเรียนแบบนำตนเอง

3. สมมติฐานของงานวิจัย

เกรดจากรายวิชาการพยาบาลในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ 2551 และค่าคะแนนข้อสอบเสมือนการสอบขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ มีความสัมพันธ์กับการทดสอบมาตรฐานเพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ จัดการสอบโดยสภาการพยาบาล จำนวน 8 รายวิชา

4. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

4.1 การสอบขึ้นทะเบียนวิชาชีพ

จากพระราชบัญญัติวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2540 ได้กำหนดไว้ว่า ผู้ประกอบวิชาชีพการพยาบาล ผู้ประกอบวิชาชีพการผดุงครรภ์ หรือผู้ประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ ชั้นหนึ่ง ต้องได้รับปริญญาหรือประกาศนียบัตร เทียบเท่าปริญญาในสาขาการพยาบาลการผดุงครรภ์ หรือการพยาบาลและการผดุงครรภ์ จากสถาบันการศึกษาในประเทศไทยที่คณะกรรมการรับรองและผ่านการสอบวัด

ความรู้ ดังนั้นบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาหลักสูตรพยาบาล สาตรบัณฑิตทุกคน จึงต้องสอบวัดความรู้ผู้ขอขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ ซึ่งจัดขึ้นโดยสภาการพยาบาล และเริ่มดำเนินการสอบมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 เพื่อรักษามาตรฐานการศึกษาพยาบาล เป็นการประกันคุณภาพของผู้ประกอบวิชาชีพฯ และคุ้มครองผู้ใช้บริการสุขภาพผลการสอบขึ้นทะเบียน ประกอบวิชาชีพฯ นี้เป็นเกณฑ์สำคัญในการรับรองสถาบันการศึกษา

4.2 การเรียนแบบนำตนเอง (Self-Directed Learning)

การเรียนแบบนำตนเอง เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่มีเป้าหมาย ให้ผู้เรียนวิเคราะห์ความต้องการการเรียนรู้ของตนเอง ตั้งเป้าหมาย วางแผนการปฏิบัติ ศึกษาค้นคว้า แสวงหาแหล่งความรู้ และประเมินผลการเรียนรู้ของตนเองอย่างต่อเนื่อง โดยมีการจัดการเวลา ความร่วมมือของกลุ่มและปัจจัยอื่นที่ต้องการ (Knowles 1975) แนวคิดดังกล่าวพัฒนามาจากหลักการของการเรียนแบบผู้ใหญ่ (Adult learning) (Jarvis 2011) ที่ประกอบด้วย 5 องค์ประกอบคือ ผู้เรียนต้องระบุความต้องการการเรียนรู้ สร้างวิธีการเรียนรู้ตามที่ต้องการ เข้าถึงทรัพยากรการเรียนรู้ เลือกสรร และใช้วิธีการเรียนที่เหมาะสม ประเมินผลลัพธ์การเรียนรู้

4.3 การจำแนกประเภทและการทำนาย (Classification and Prediction)

การจำแนกประเภท เป็นกระบวนการในการหารูปแบบของชุดข้อมูลที่มีความใกล้เคียงกันที่สุด เพื่อใช้สำหรับทำนายชุดข้อมูลว่าอยู่ในประเภทใดของชุดข้อมูลที่ได้มีการแบ่งตามคลาส (Class) แล้ว ซึ่งชุดข้อมูลที่ถูกแบ่งแล้ว ได้จากการเรียนรู้ข้อมูลจากข้อมูลทดสอบ (Training Data Set) โดยแบบจำลองสามารถแสดงได้ในหลายรูปแบบ เช่น ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) กฎพื้นฐาน (Rule-Base) เป็นต้น ในกระบวนการสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับการจำแนกข้อมูลมีกระบวนการแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนได้แก่ 1) การสร้างแบบจำลอง (Model Construction) 2) การประเมินแบบจำลอง (Model Evaluation) และ 3) การนำแบบจำลองไปใช้งาน (Model Usage) เป็นการนำแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพ ไปใช้กับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อน (Unseen Data) โดยแบบจำลองจะให้ผลลัพธ์เป็นการพยากรณ์ค่าของคลาสตามที่แบบจำลองกำหนด

4.4 ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

ต้นไม้ตัดสินใจเป็นแบบจำลองเพื่อการทำนาย (Predictive model) เป็นแบบจำลองที่มีลักษณะคล้ายกับแบบจำลองที่มีลำดับขั้นตอนการตัดสินใจ (Rokach 2008) เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ ต้นไม้การตัดสินใจเป็นการนำข้อมูลฝึกฝน (Training Data) มาสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ การสร้างแบบจำลองเป็นการเรียนรู้ชุดข้อมูลแบบมีผู้สอน (Supervised Learning) คือสามารถสร้างแบบจำลองได้จากกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลได้อัตโนมัติ และสามารถพยากรณ์กลุ่มตัวอย่างของข้อมูลที่ยังไม่เคยนำมาจัดหมวดหมู่ หรือ ข้อมูลทดสอบ (Testing Data) การแสดงรูปแบบของต้นไม้ตัดสินใจ ประกอบไปด้วย โหนด (Node) แรกสุดเรียกว่า โหนดราก (Root Node) และแตกออกเป็นโหนดย่อยจนโหนดสุดท้ายเรียกว่า โหนดปลาย (Leaf Node) การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการสร้างต้นไม้ตัดสินใจ ด้วยขั้นตอนวิธีแบบ C4.5 (J.R. Quinlan 1990; J. Ross Quinlan 1986)

5 วิธีดำเนินการวิจัย

5.1 ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ 1) ข้อมูลคะแนนผลสัมฤทธิ์การเรียนรู้ในรายวิชาการพยาบาล 31 วิชา ซึ่งเป็นรายวิชาการพยาบาลในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ 2551 2) ผลการทำแบบทดสอบก่อนหลัง และ 3) ผลการสอบผ่านการขึ้นทะเบียนรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ ของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 จำนวน 81 คน ปีการศึกษา 2555

5.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาชุดข้อสอบเสมือนผ่านระบบการเรียนรู้ออนไลน์ (e-Learning) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในกระบวนการเรียนรู้แบบนำตนเอง (Self-Directed Learning) ซึ่งข้อสอบเสมือนออนไลน์ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญต่องานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากชุดข้อสอบเสมือนที่ใช้สำหรับวัดความรู้ มีความสอดคล้องกับเนื้อหาของวิชาที่ใช้ในการสอบใบอนุญาตและเป้าหมายของรายวิชาในหลักสูตรการพยาบาล ทั้งนี้โดยผ่านกระบวนการจัดทำจากผู้เชี่ยวชาญในวิชานั้นจากหลายสถาบันร่วมกัน จึงกล่าวโดยสรุปได้ว่า ชุดข้อสอบเสมือนออนไลน์เปรียบเสมือนตัวกลางที่ใช้เชื่อมโยงหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ของคณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์ และเป้าประสงค์ของสภาการพยาบาลในด้านการพัฒนามาตรฐานผู้จบวิชาชีพการพยาบาลการ ผ่านกระบวนการทดสอบมาตรฐานความรู้ 8 รายวิชา เพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์

5.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

กระบวนการจัดกลุ่มข้อมูลในวิจัยนี้ สามารถแบ่งการจัดเก็บข้อมูลได้เป็น 3 ระยะที่สำคัญ ดังนี้

ระยะที่ 1 การจัดเก็บข้อมูลที่ได้จากการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปีการศึกษา 2551 โดยข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของผลสัมฤทธิ์ที่แบ่งเป็น 8 ระดับ คือ A (Excellent), B+ (Very Good), B (Good), C+ (Fairly Good), C (Average), D+ (Very Poor), D (Poor) และ F (Failure)

ระยะที่ 2 การจัดเก็บข้อมูลผลการทดสอบที่ได้จากข้อสอบเสมือนจำนวน 8 วิชา ซึ่งสอดคล้องกับการสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ ผ่านกระบวนการเรียนรู้แบบนำตนเอง ใช้แบบทดสอบ 2 ชุดคือ 1) แบบทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) เป็นข้อสอบเสมือนปี 2549-2554 ผ่านระบบการทดสอบออนไลน์ ที่นักศึกษาใช้ทบทวนความรู้ด้วยตนเอง เพื่อประเมินความรู้ ความเข้าใจ ที่นักศึกษาได้จากการเรียนแบบนำตนเอง 2) แบบทดสอบหลังเรียน (Post-test) เป็นการสอบรวบยอดทางการพยาบาลข้อสอบกลางของ สมาคมสถาบันอุดมศึกษาแห่งประเทศไทยสาขานพยาบาลศาสตร์ ปีการศึกษา 2555 ที่ใช้ในการประเมินผลนักศึกษาเมื่อสิ้นสุดโครงการเตรียมความพร้อม

ระยะที่ 3 การจัดเก็บข้อมูลผลการสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ ซึ่งจัดขึ้นโดยสภาการพยาบาล

ข้อมูลทั้ง 3 ส่วนจะถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมโยงระหว่าง ระดับผลการศึกษาในรูปแบบของผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา 8 ระดับ กับผลการสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ ซึ่งจัดขึ้นโดยสภาการพยาบาล โดยใช้เทคนิควิธีเหมือนข้อมูลในการวิเคราะห์

วัตถุประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำไปตอบคำถามว่า ผลการสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ ซึ่งมีผลการสอบเป็น “ผ่าน (Pass)” ของผู้เรียนในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปีการศึกษา 2551 นั้น เกี่ยวข้องกับรายวิชาใดในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต ปี พ.ศ. 2551 เมื่อพิจารณารายวิชาการพยาบาลในหลักสูตรทั้ง 31 รายวิชา

5.4 ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เน้นการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการจัดการศึกษาในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต คณะพยาบาลศาสตร์ วิทยาลัยเซนต์หลุยส์ ผ่านกระบวนการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาโดยมาตรฐานระดับความรู้ของสถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทย ใช้ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนแยกออกเป็น 8 ระดับ อีกทั้งผู้วิจัยยังจัดให้มีการเรียนรู้แบบนันทนเองด้วยการสร้างชุดข้อสอบเสมือนซึ่งมีเนื้อหาสอดคล้องกับรายวิชาที่ใช้ในการทดสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ โดยผู้เรียนสามารถเข้าไปทำแบบทดสอบเสมือนออนไลน์เพื่อประเมินตนเองได้ตลอดเวลา ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนข้างต้นจะถูกนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับผลการทดสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ ซึ่งจัดสอบขึ้นโดยสภาการพยาบาล

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดข้างต้นมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบของปัจจัยที่ผู้เรียนได้รับในขณะที่เรียนในหลักสูตร กล่าวคือข้อมูลระดับผลสัมฤทธิ์ที่ได้ในแต่ละรายวิชา เทียบกับผลการสอบข้อสอบเสมือนทั้ง 8 วิชา ทำให้ทราบว่า ระดับคะแนนที่ได้จากการทดสอบข้อสอบเสมือนรายวิชาต่าง ๆ เป็นผลมารายวิชาใดในหลักสูตรเป็นสำคัญ สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูลในการสร้างแบบจำลองในการพยากรณ์ ซึ่งมีผลลัพธ์ในรูปแบบของกฎ ที่แสดงในลักษณะต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)

5.5 การเตรียมข้อมูล (Data pre-processing stage)

กระบวนการจัดเตรียมข้อมูลมีลำดับขั้นตอนดังนี้

ชุดข้อมูลที่ผู้วิจัยนำวิเคราะห์เป็นข้อมูลของผู้เรียนจำนวน 81 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาที่สำเร็จการศึกษาในหลักสูตรพยาบาลศาสตรบัณฑิต และผ่านการสอบเสมือนทั้ง 8 วิชา ทั้งนี้ผลการทดสอบข้อสอบเสมือนจะอยู่ในรูปแบบคะแนนเป็นร้อยละ และเพื่อให้ข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองด้วยต้นไม้ตัดสินใจ ผู้วิจัยได้ปรับค่าระดับคะแนนให้อยู่ในระดับคะแนน 6 ระดับ เพื่อให้สอดคล้องกับการนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการสร้างแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์โดยใช้เทคนิควิธีเหมืองข้อมูลในขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้ผู้วิจัยใช้เงื่อนไขดังนี้ ระดับ A กำหนดคะแนนในช่วง 90% - 100% ระดับ B กำหนดคะแนนในช่วง 80% - 89% ระดับ C กำหนดคะแนนในช่วง 70% - 79% ระดับ D กำหนดคะแนนในช่วง 60% - 69% ระดับ E กำหนดคะแนนในช่วง 50% - 59% และ ระดับ F คือระดับคะแนนที่น้อยกว่า 50%

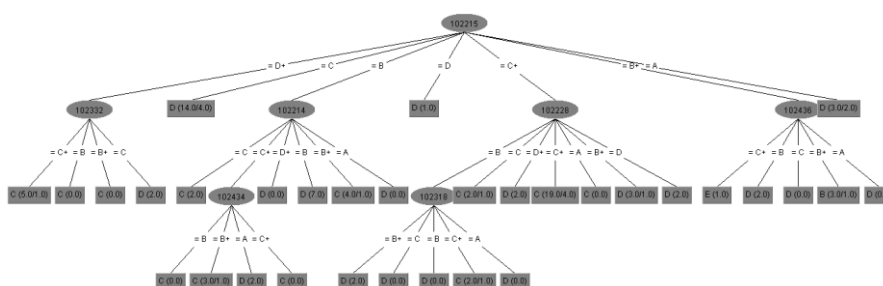
6 ผลการวิจัย

การสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ด้วยเทคนิควิธีเหมืองข้อมูล ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการวิเคราะห์หาปัจจัยสำคัญระหว่างระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในแต่ละรายวิชาของหลักสูตร กับผลการสอบเสมือนเพื่อขอขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ การวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ ต้นไม้ตัดสินใจ

(Decision Tree) เป็นแบบจำลองเพื่อการทำนาย (Predictive model) ผ่านโปรแกรม Weka ซึ่งถือเป็นเครื่องมือที่ได้รับความนิยมในการทำเหมืองข้อมูล และเลือกใช้อัลกอริทึม C4.5 ในการสร้างแบบจำลอง โดยผลการสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ทั้ง 8 วิชา โดยสามารถแสดงตัวอย่างแบบจำลองและการวิเคราะห์แบบจำลองได้ดังนี้

การทดสอบด้วยข้อสอบเสมือน วิชา กฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (Law) สามารถจำแนกผู้เรียนด้วยวิธีการปรับระดับคะแนนได้เป็น 4 ระดับ ดังนี้ 1) ระดับ B จำนวน 3 คน 2) ระดับ C จำนวน 32 คน 3) ระดับ D จำนวน 40 คน 4) ระดับ E จำนวน 6 คน เมื่อนำชุดข้อมูลระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนตลอดหลักสูตรโดยมีรายวิชาต่าง ๆ มาเป็นปัจจัย (Feature) ในการสร้างแบบจำลองสำหรับการพยากรณ์ และมีระดับคะแนนของผลการสอบเสมือน วิชากฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (Law) เป็น คลาสค่าตอบ (Target Class) สามารถแบบจำลองได้ดังภาพ



ภาพที่ 1 แบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ วิชากฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (Law)

เมื่อพิจารณาแบบจำลองที่ได้จากวิธีการเหมืองข้อมูลพบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวมในการจำแนกข้อมูล (Correctly Classified Instances) มีค่าเท่ากับ 64 ข้อมูล คิดเป็น 79.01% และจำนวนข้อมูลผิดพลาด (Incorrectly Classified Instances) มีค่าเท่ากับ 17 ข้อมูล คิดเป็น 20.98% โดยวิชาที่เป็นปัจจัยสำคัญในการพยากรณ์ผลการสอบเสมือน วิชากฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (Law) ประกอบไปด้วย 7 รายวิชา ดังตาราง

ตารางที่ 2 : รายวิชาที่เป็นปัจจัยต่อการสอบเสมือน วิชากฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (Law)

ลำดับ	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ชั้นปี – ภาคการศึกษา	ระดับการจำแนก
1	102215	หลักการพยาบาลพื้นฐาน	2-1	1
2	102332	ปฏิบัติการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 1	3-1	2
3	102214	กระบวนการพยาบาลและการประเมินสุขภาพ	1-2	2
4	102228	การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 2	2-2	2
5	102436	ปฏิบัติการพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 2	4-1	2
6	102434	ปฏิบัติการพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวช	4-1	3
7	102318	การพยาบาลอนามัยชุมชน 2	3-2	3

7. สรุปผลการวิจัย

เมื่อนำผลการสร้างแบบจำลองการพยากรณ์ด้วยเทคนิควิธีเหมืองข้อมูลของทุกรายวิชาที่มีการจัดสอบเสมือน มาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างระดับผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาในรายวิชาทางการพยาบาล 31 รายวิชา กับผลการสอบด้วยข้อสอบเสมือนออนไลน์ 8 รายวิชา ผลที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงค่าระดับในการจำแนกข้อมูล ซึ่งเป็นการจัดระดับความสัมพันธ์ของรายวิชาในหลักสูตรต่อผลการพยากรณ์ในแบบจำลอง โดยรายวิชาที่มีค่าระดับความสัมพันธ์ที่ระดับ 1 เป็นค่าระดับความสัมพันธ์ที่สูงที่สุด และ ระดับความสัมพันธ์ในระดับ 2 เป็นค่าระดับที่รองลงมาตามลำดับ สามารถแสดงรายละเอียดระดับความสัมพันธ์ได้ดังตาราง

ตารางที่ 3 : ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาในรายวิชาทางการพยาบาล 31 รายวิชา กับผลการสอบด้วยข้อสอบเสมือนออนไลน์ 8 รายวิชา

No	รายวิชา	ชื่อวิชา	ปี-ภาค ที่เรียน	กฎหมาย อาชญากรรม (Law)	การพยาบาล ผู้สูงอายุ (EI)	การพยาบาลสุขภาพจิต และจิตเวช (Psy)	การพยาบาลเด็กและ วัยรุ่น (Child)	ผดุงครรภ์ (Mid)	การพยาบาล มารดาทารก (Mom)	การพยาบาล อนามัยชุมชน (Commu)	จำนวน ปัจจัย
1	102214	กระบวนการพยาบาลและการประเมินสุขภาพ	1-2	2	2						2
2	102213	แนวคิดพื้นฐานทางการพยาบาล	1-2				2			2	2
3	102215	หลักการพยาบาลพื้นฐาน	2-1	1	2						2
4	102219	การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 1	2-1		1			2		2	4
5	102216	การพยาบาลบุคคลและครอบครัว	2-1				2		2		2
6	102224	การพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 1	2-1					2			1
7	102227	การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 1	2-1								1
8	102228	การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 2	2-2	2		2			1	2	4
9	102220	การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 2	2-2			2			1		2
10	102225	การพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 2	2-2					1	2	4	3
11	102332	ปฏิบัติการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 1	3-1	2				2			2
12	102326	การพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 3	3-1			1					1
13	102321	การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 3	3-1				1	2			2
14	102322	การพยาบาลจิตเวช 1	3-1					3			1
15	102217	การพยาบาลอนามัยชุมชน 1	3-1							1	1
16	102337	ปฏิบัติการพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 1	3-1							4	1
17	102318	การพยาบาลอนามัยชุมชน 2	3-2	3		3			2	3	4
18	102323	การพยาบาลจิตเวช 2	3-2		3						1
19	102338	ปฏิบัติการพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 2	3-2		3			3	2		3
20	102335	ปฏิบัติการพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 1	3-2			2	3				2
21	102433	ปฏิบัติการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 2	3-2						2		2
22	102229	การวิจัยทางการพยาบาล	3-2						3		1
23	102436	ปฏิบัติการพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 2	4-1	2	2		3	3	2		5
24	102434	ปฏิบัติการพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวช	4-1	3							2
25	102330	ปฏิบัติการพยาบาลอนามัยชุมชน 1	4-1				2	2			2
26	102431	ปฏิบัติการพยาบาลอนามัยชุมชน 2	4-2				2			3	2
27	102439	ปฏิบัติการประเมินการพยาบาลวิชาชีพ 1	4-2							2	1

จากตารางเมื่อพิจารณาเฉพาะรายวิชาที่มีค่าระดับความสัมพันธ์ที่ระดับ 1 ซึ่งค่าระดับความสัมพันธ์ที่สูงที่สุด สามารถได้ดังตาราง

ตารางที่ 4 : สรุปผลการวิเคราะห์รายวิชาทางการพยาบาลที่มีผลต่อการสอบเสมือนมากที่สุด

ลำดับ	รายวิชาการสอบเสมือน	รหัสวิชา	ชื่อวิชา (รายวิชาทางการพยาบาล)	ชั้นปี – ภาคการศึกษา	ความถูกต้องของ แบบจำลอง (CCI)
1	กฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์ (Law)	102215	หลักการพยาบาลพื้นฐาน	2-1	79.01%
2	การพยาบาลผู้สูงอายุ (EI)	102219	การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 1	2-1	74.07%
3	การพยาบาลสุขภาพจิตและจิตเวช (Psy)	102326	การพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 3	3-1	79.01%
4	การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น (Chil)	102321	การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 3	3-1	81.48%
5	ผดุงครรภ์ (Mid)	102225	การพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 2	2-2	85.18%
6	การพยาบาลผู้ใหญ่ (Adult)	102220	การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 2	2-2	86.41%
7	การพยาบาลมารดาทารก (Mom)	102228	การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 2	2-2	85.18%
8	การพยาบาลอนามัยชุมชน (Comm)	102217	การพยาบาลอนามัยชุมชน 1	3-1	90.12%

7 การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

7.1 การอภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลผลการสอบเพื่อขึ้นทะเบียนและรับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพฯ ของผู้เรียนในกลุ่มตัวอย่าง ที่มีผลการสอบเป็น “ผ่าน (Pass)” มาทำการวิเคราะห์ระดับผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษาของรายวิชาที่ผู้เรียนทำได้ในระหว่างการเรียนในหลักสูตร โดยผลการวิเคราะห์สามารถอธิบายได้ดังนี้

การสอบผดุงครรภ์และการพยาบาลมารดาทารก ผู้ที่สอบผ่านส่วนใหญ่ในกลุ่มตัวอย่างมีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนใน 2 รายวิชา ได้แก่ 102225 การพยาบาลมารดา ทารก และการผดุงครรภ์ 2 ที่ระดับ C, C+, B และ 102228 การพยาบาลเด็กและวัยรุ่น 2 ที่ระดับ C, C+, B และ B+

การพยาบาลผู้ใหญ่และการพยาบาลผู้สูงอายุ ผู้ที่สอบผ่านส่วนใหญ่ในกลุ่มตัวอย่างมีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนใน 2 รายวิชา ได้แก่ 102219 การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 1 ที่ระดับ C, C+, B, B+ และ 102220 การพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ 2 ที่ระดับ C, C+ และ B

การพยาบาลอนามัยชุมชนและการรักษาพยาบาลขั้นต้น ผู้ที่สอบผ่านส่วนใหญ่ในกลุ่มตัวอย่างมีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนใน 1 รายวิชา ได้แก่ 102217 การพยาบาลอนามัยชุมชน 1 ที่ระดับ D+, C, C+, B และ B+

กฎหมายวิชาชีพการพยาบาลและการผดุงครรภ์และจรรยาบรรณวิชาชีพ และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง ที่สอบผ่านส่วนใหญ่ในกลุ่มตัวอย่างมีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนใน 1 รายวิชา ได้แก่ 102215 หลักการพยาบาลพื้นฐาน ที่ระดับ C, C+ และ B

7.2 ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

จากผลการวิจัยพบว่า รายวิชาที่มีการจัดการสอบเสมือนทั้ง 8 รายวิชา มีรายวิชาในหลักสูตรที่องค์ประกอบในแบบจำลองเพื่อการทำนายที่แตกต่างกัน ตามการจัดลำดับความสัมพันธ์ ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำรายวิชาต่าง ๆ ที่ได้ไปใช้ในการจัดเตรียมองค์ความรู้ที่สำคัญที่ผู้เรียนจำเป็นต้องมีความรู้ ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในหลักสูตรพยาบาล ศาสตร์บัณฑิต อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นให้ผู้เรียนเกิดการตระหนักในความสำคัญของรายต่าง ๆ ในหลักสูตร ทั้งนี้ผู้บริหารจัดการหลักสูตรสามารถนำผลวิจัยนี้ ไปใช้ในการปรับปรุงแผนการเรียนการสอน การจัดกิจกรรมเสริมในรายวิชาที่มีความสำคัญกับการทดสอบมาตรฐานเพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบวิชาชีพฯ จัดการสอบโดยสภาการพยาบาลต่อไป

8 เอกสารอ้างอิง

- Fayyad, U. 1997. "Data Mining and Knowledge Discovery in Databases: Implications for Scientific Databases." In , *Ninth International Conference on Scientific and Statistical Database Management, 1997. Proceedings*, 2–11. doi:10.1109/SSDM.1997.621141.
- Frawley, William J., Gregory Piatetsky-Shapiro, and Christopher J. Matheus. 1992. "Knowledge Discovery in Databases: An Overview." *AI Magazine* 13 (3): 57. doi:10.1609/aimag.v13i3.1011.
- Jarvis, Peter. 2011. *Adult Learning in the Social Context*. Reprint edition. London; New York: Routledge.
- Knowles, Malcolm S. 1975. *Self-Directed Learning*. Association Press New York.
- Quinlan, J.R. 1990. "Decision Trees and Decision-Making." *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 20 (2): 339–46. doi:10.1109/21.52545.
- Quinlan, J. Ross. 1986. "Induction of Decision Trees." *Machine Learning* 1 (1): 81–106.
- Rokach, Lior. 2008. *Data Mining with Decision Trees: Theory and Applications*. World Scientific.
- Sachin, R.B., and M.S. Vijay. 2012. "A Survey and Future Vision of Data Mining in Educational Field." In *2012 Second International Conference on Advanced Computing Communication Technologies (ACCT)*, 96–100. doi:10.1109/ACCT.2012.14.

การพัฒนาระบบฐานข้อมูลฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนา

RECOGNITION SKILL DATABASE DEVELOPMENT

BY USING PUZZLE GAME

นายสมบุญ สุภัทรกุลชัย

อาจารย์ สังกัด คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

E-mail : somboon.su@northbkk.ac.th

นางสาวณัฐรดา ธรรมเวช

อาจารย์ สังกัด คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

E-mail : natrada.th@northbkk.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูล เกมตารางปริศนารูปภาพ 15 ช่อง และ เกมคำนวณบวก ลบ คูณ หาร 16 ช่อง เพื่อฝึกทักษะการคิด การจดจำ และการคำนวณของ เกมตารางพีชเชล และศึกษาความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบฝึกทักษะการจดจำ ทั้งนี้เพื่อเป็นการสร้างฐานข้อมูลที่จะช่วยให้บุคคลทั่วไปเกิดการพัฒนาความจำ และการคำนวณ ในการดำเนินชีวิตประจำวัน ส่งเสริมในพฤติกรรมการเรียนรู้ของมนุษย์ คณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition ในการออกแบบ แอปพลิเคชัน และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน นอกจากนี้ยังได้ใช้โปรแกรม Microsoft Access 2010 เพื่อช่วยในการจัดการฐานข้อมูล ผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาระบบฐานข้อมูลฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนา สามารถเลือกกลุ่มตัวเลข หรือรูปภาพ และสามารถจัดการฐานข้อมูลภาพเพิ่มเติมได้ตามที่ต้องการ ทั้งนี้ระบบสามารถบันทึกข้อมูลแบบทดสอบและการแสดงผลสรุปประสิทธิภาพของการจดจำของ เกมในด้านความเร็วได้ตรงตามวัตถุประสงค์ จากการที่ได้นำระบบไปทำการประเมินผลหาความพึงพอใจพบว่า ความพึงพอใจอยู่ในระดับดี มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.17 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี

คำสำคัญ: ทักษะการจดจำ เกม ตารางปริศนา

ABSTRACT

The purposes of this research are to develop database system of 15 slots picture puzzle game table and 16 slots calculation game, plus, minus, multiple and divide. This is to develop thinking, Recognition and calculating skills for puzzle game table and to study on the satisfactory of Recognition skill development system. Those are basic data to improve Recognition and calculating skills of people in daily life as well as

encourage learning behavior. The developers have created the application and controlling program which are applied from Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition. Besides, Microsoft Access 2010 is used to manage database. The Research results show that puzzle Recognition skill development is able to random the number or picture and manage more pictures data as user's need. The system is quickly capable to record testing data and conclude the speed efficiency of game Recognition as the objectives. System satisfaction level is in good level with has average score at 4.17 and standard deviation at 0.64. This can be concluded that the developed system has good satisfaction.

KEYWORD: Recognition skills, Game, Table Puzzle

1. บทนำ

การพัฒนาฐานข้อมูลฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนา ประกอบด้วย เกมตารางปริศนา ตัวเลข 15 ช่อง เกมตารางปริศนารูปภาพ 15 ช่อง และเกมคำนวณ บวก ลบ คูณ หาร 16 ช่อง ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบเครื่องมือฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนาในงานวิจัยเฟสที่ 1 เรื่อง การพัฒนาตัวแบบเครื่องมือฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนา ซึ่งพัฒนาเฉพาะเกมแต่ยังไม่ได้สร้างให้จัดเก็บเป็นฐานข้อมูล ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาเกมให้สามารถจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลภาพได้ และพัฒนาฐานข้อมูลเกมคำนวณ บวก ลบ คูณ หาร 16 ช่อง เพิ่มเติมในเฟสที่ 2

เมื่อผู้เล่นเข้ามาเล่นเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง จะได้เรียนรู้ วิธีเล่น กฎกติกาของเกม โดยผู้เล่นจะใช้ทักษะการสังเกตในการเล่นเลื่อนตัวเลข และวิเคราะห์การแก้ไขปัญหาอย่างไรให้เล่นเกมชนะ เมื่อผู้เล่น เล่น เกมเรื่อยๆ ความเร็ว ความชำนาญในการแก้ไขปัญหาจะใช้เวลาลดลง ผู้เล่นจะได้ทักษะการเรียนรู้

การจำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำเนินชีวิตของมนุษย์อย่างมาก เพราะความจำเป็นกระบวนการรับ และ เก็บข้อมูลของสมอง กระบวนการนี้เป็นศูนย์กลางของเรียนรู้และการคิดของคนเรา ความจำเป็นสิ่งที่ทำให้เราสามารถ เดิน เรียน ฟ้องคลาย ติดต่อสื่อสาร และเล่นสนุกได้ กิจกรรมที่เรากระทำอยู่บ่อยๆ เกมตารางปริศนา รูปภาพ 15 ช่อง เป็นเกมที่มีลักษณะการคิดเหมือนกับเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง จะพบปัญหาว่าภาพไม่สามารถจัดเรียงลำดับได้เหมือนตัวเลข ดังนั้น ผู้เล่นจะต้องดูภาพตัวอย่างในเกมส์เพื่อสังเกต และจดจำตำแหน่ง การวางรูป ทำให้ผู้เล่นใช้เวลาในการเล่นมากกว่าตัวเลข ประโยชน์ที่ได้รับ คือ ฝึกสมาธิ ฝึกสมอง ฝึกความจำ และท้าทายความสามารถ การเล่นเกมเพื่อเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งที่ทำให้เสริมสร้างพัฒนาการทางด้านสมอง และการจดจำ

การจำตัวเลขมีความสำคัญสำหรับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ จากงานวิจัย บรรจบ ชศกัธ และคณะ (2552) ได้ศึกษาเรื่องความสามารถในการจำตัวเลขของเด็กที่อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการมีปัญหาทางการเรียนรู้ ผล การศึกษาพบว่า คะแนนเฉลี่ยก่อนการจัดประสบการณ์ การเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 8.25 อยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำ และคะแนนเฉลี่ยหลังการจัดประสบการณ์ การเรียนรู้มีค่าเท่ากับ 16.87 อยู่ในระดับดีมาก คณิตศาสตร์ เป็นศาสตร์ สำคัญต่อการพัฒนาความคิดของคน ทำให้คนสามารถศึกษาและวิเคราะห์ปัญหา ด้วยความรอบคอบมีระบบ เป็นระเบียบ ถี่ถ้วนสามารถคาดการณ์ วางแผนตัดสินใจแก้ปัญหาได้ถูกต้องและเหมาะสม จนได้ชื่อว่า “เป็นคนคิดเป็น

ทำเป็นและแก้ไขปัญหานั้น” สามารถอยู่ในสังคมได้อย่างมีความสุข (สุวรรณ กาญจนมยุร, 2556) การเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ต้องอาศัยความเข้าใจ จากนั้นจะต้องหมั่นทบทวนก่อให้เกิดการจำ และทำแบบฝึกหัดในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดการคิดเป็น-คิดเร็ว ผู้วิจัยได้พัฒนาเกมคำนวณ บวก ลบ คูณ หาร 16 ช่อง โดยใช้ฐานข้อมูลจากหนังสือคณิตคิดเป็น-คิดเร็ว ตอน บวก ลบ คูณ หาร ของคุณสุวรรณ กาญจนมยุร มาบันทึกลงฐานข้อมูล และพัฒนาชุดข้อมูลใหม่เพิ่มเติม

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาเกมฝึกทักษะการคิด การจดจำ และการคำนวณของเกมตารางพีชเชล
- 2.2 เพื่อศึกษาความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบฝึกทักษะการจดจำ

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง เป็นเครื่องมือที่ใช้เล่นเป็นแผ่นพลาสติกรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ภายในประกอบด้วยแผ่นพลาสติกสี่เหลี่ยมจัตุรัสย่อยเล็กๆ จำนวน 15 แผ่น วางเรียงกันเป็นตาราง 4 x 4 โดยมีช่องว่างหนึ่งช่องอยู่ภายใน แผ่นสี่เหลี่ยมเล็กแต่ละแผ่นมีตัวเลขกำกับตั้งแต่ 1 ถึง 15 จุดประสงค์ของเกมก็คือ ให้เลื่อนแผ่นสี่เหลี่ยมภายในไปมา (ตามแนวนอนหรือแนวตั้ง) เพื่อให้ได้แผ่นสี่เหลี่ยมเหล่านี้ เรียงเป็นระเบียบ ไล่ตั้งแต่ 1 ถึง 15 (จากซ้ายไปขวา จากบนลงล่าง) ดังภาพที่ 1 - 2 (สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล, 2552:2)

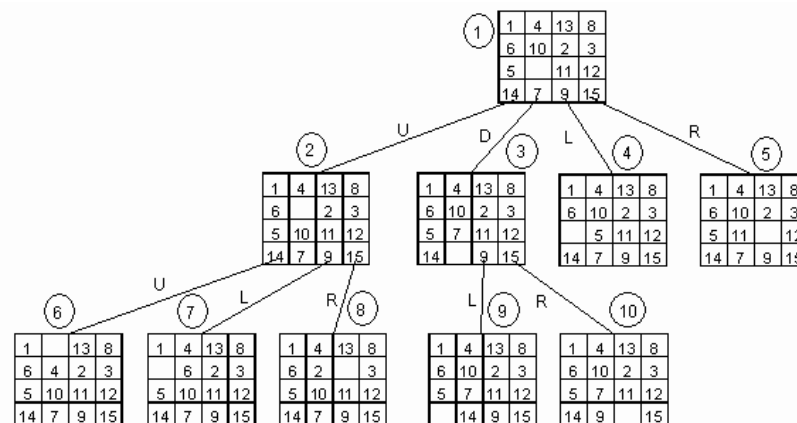


ภาพที่ 1 ตัวอย่างการสุ่มข้อมูลที่ไม่สามารถ
สอดคล้องกับเกม



ภาพที่ 2 ตัวอย่างการสุ่มข้อมูลที่สอดคล้องกับเกม

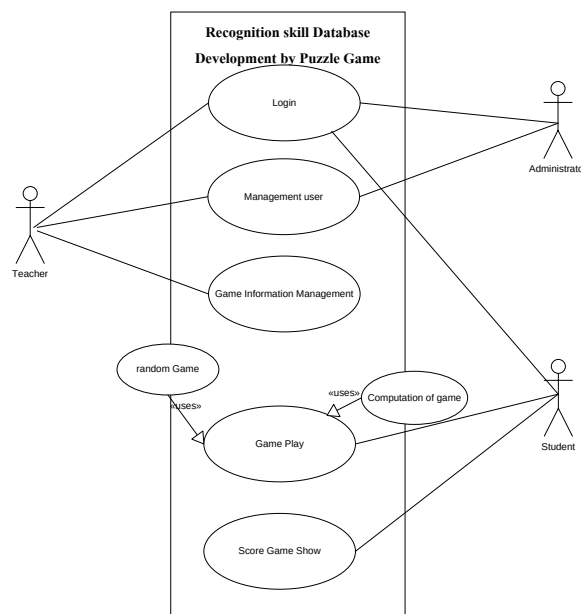
อัลกอริทึมการค้นหาตามแนวกว้าง (Breadth-First Search Algorithm) เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหากับเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยอัลกอริทึมการค้นหาตามแนวกว้าง

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบนั้นได้ดำเนินการโดยแบ่งขั้นตอนตามวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) ในการออกแบบระบบงาน ผู้วิจัยได้ใช้ภาษา UML (Unified Modeling Language) อธิบายแบบจำลองของระบบตามแนวคิดเชิงวัตถุ โดยใช้ Use Case Diagram ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานระบบและฟังก์ชันต่าง สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 Use Case Diagram ของระบบ

4.1 ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์ข้อมูล เกมปริศนา 15 ช่อง ที่ทำเป็นแผ่นพลาสติกจัดจรัสจะไม่พบปัญหาการเล่นเปลี่ยนเลข แต่นำมาเขียนเป็นโปรแกรมจะพบปัญหาว่า ในการสุ่มค่าตัวเลข ซึ่งจะเกิดเหตุการณ์ที่เราไม่

สามารถแก้ไขปริศนาให้เลื่อนตัวเลขเป็น 1 ถึง 15 ได้ ผู้วิจัยจะต้องกำหนดเงื่อนไขการสุ่มข้อมูลให้อยู่ในเงื่อนไขที่แก้ไขปริศนาได้เท่านั้น การสร้างภาพมาแทนตัวเลข ผู้วิจัยจะพบปัญหาว่าจะนำภาพมาในใส่ตารางอย่างไรให้ภาพไม่บิดเบี้ยว การนำรูปภาพออกมาแสดงอย่างไร การตรวจสอบภาพที่สมบูรณ์จะตรวจสอบอย่างไร ผู้วิจัยจะต้องใช้อัลกอริทึมการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นทั้งหมด การสร้างฐานข้อมูลคำนวณตัวเลข ผู้วิจัยเลือกหนังสือ คณิตคิดเป็น-คิดเร็ว ตอน บวก ลบ คูณ หาร เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับการคิดเป็น-คิดเร็ว

4.2 การเตรียมข้อมูล ในการเตรียมข้อมูลของผู้วิจัยได้ออกแบบการข้อมูลการสุ่ม ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขการสุ่มที่ผู้เล่นสามารถแก้ไขปริศนาได้ทุกกรณีเท่านั้น การออกแบบภาพที่ใช้จะเลือกภาพที่สามารถแยกความแตกต่างกันได้ทั้ง 15 ช่องตาราง ภาพที่แยกความแตกต่างไม่ได้จะถูกคัดออกจากเกม การคำนวณตัวเลขจะต้องไม่มีเลขซ้ำกันใน 16 ช่องตาราง

4.3 การสร้างแบบทดสอบ การสร้างแบบทดสอบใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition ในการพัฒนาโปรแกรมแบบทดสอบ และใช้โปรแกรม Microsoft Access 2010 โดยมีการทดสอบรูปภาพใน 15 ช่อง จะต้องไม่ซ้ำกัน จากภาพที่ 4 จะไม่ถูกจัดเก็บลงฐานข้อมูลภาพ ส่วนภาพที่ 5 จะต้องตรวจสอบการคำนวณทุกช่องให้ถูกต้อง



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการตรวจสอบภาพที่ไม่สมบูรณ์



ภาพที่ 6 ตัวอย่างการตรวจสอบตัวเลขที่ไม่ซ้ำกัน

4.4 การทดลอง

จากภาพที่ 1 จะพบว่าเลข 14 สลับกับเลข 15 จะไม่สามารถหาคำตอบของเกมตารางปริศนาได้ ซึ่ง นาย Sam Loyd ทำผู้คนว่า ถ้าใครสามารถแก้ปัญหานี้ได้ เขาจะให้เงิน 1,000 ดอลลาร์ ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขที่สอดคล้องกับเล่นเกมเท่านั้น และตรวจสอบความผิดพลาดการสุ่มทั้งหมด จากนั้นจึงหลักการนี้มาพัฒนาเกมปริศนารูปภาพ (วาริน นิลศิริสุข, 2553:8)

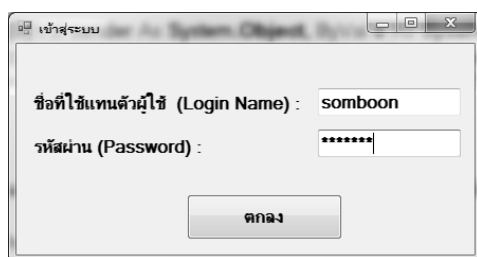
จากภาพที่ 2 ผู้วิจัยได้ศึกษาแบบที่ไม่สอดคล้องกับการเล่นเกมทั้งหมด และกำหนดการสุ่มไม่ให้ตรงเงื่อนไขดังกล่าว

จากภาพที่ 5 ผู้วิจัยได้นำภาพที่สร้างมาตรวจสอบ พบว่าช่องที่ 13, 14 สีสันเหมือนกัน รูปดังกล่าวไม่จัดเก็บลงฐานข้อมูล

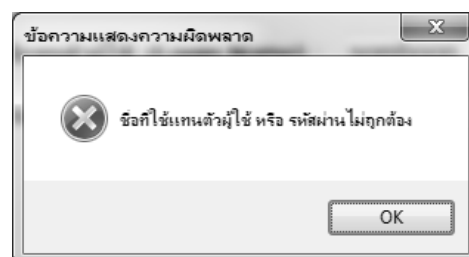
จากภาพที่ 6 ผู้วิจัยได้นำชุดข้อมูลตัวเลขที่สร้างฐานข้อมูลมาตรวจสอบ ถ้ามีตัวเลขซ้ำกัน จะดำเนินการแก้ไขข้อมูล จากนั้น ตรวจสอบการคำนวณผลลัพธ์และคะแนนให้สอดคล้องในแต่ละข้อมูล (16 ข้อ)

5. ผลการทดลอง

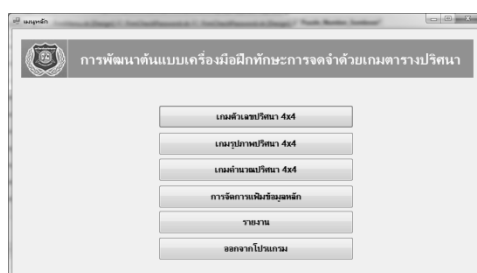
5.1 การกำหนดสิทธิ์และตรวจสอบการใช้งาน การกำหนดสิทธิ์การใช้งานแบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ดูแลระบบ กลุ่มอาจารย์ และกลุ่มนักศึกษา มีการทดสอบตรวจสอบสิทธิ์การใช้งานแต่ละกลุ่ม ให้อยู่ในขอบเขตการใช้งาน ถ้าผู้ใช้ใส่รหัสผิดเกิน 3 ครั้ง จะออกจากโปรแกรม ดังภาพที่ 7-10



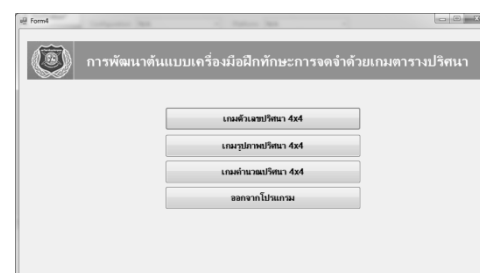
ภาพที่ 7 การเข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 8 การแสดงความผิดพลาดของการเข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 9 สิทธิ์การใช้งานของอาจารย์



ภาพที่ 10 สิทธิ์การใช้งานของนักศึกษา

จากภาพที่ 7 การเข้าสู่ระบบ อาจารย์จะเป็นผู้บันทึกข้อมูลนักศึกษา จากนั้นนักศึกษาก็จะเข้ามาเปลี่ยนรหัสผ่านภายหลัง

จากภาพที่ 8 การตรวจสอบสิทธิ์ผู้ใช้ ถ้าผู้ใช้ใส่รหัสผู้ใช้ และรหัสผ่านผิด จะแสดงความเตือน ครบ 3 ครั้งจะออกจากโปรแกรม

จากภาพที่ 9 อาจารย์จะสามารถบันทึกแบบทดสอบการคำนวณ ภาพ และข้อมูลนักศึกษา

จากภาพที่ 10 นักศึกษาจะเข้ามาเล่นเกมเพื่อฝึกทักษะ การคำนวณ และความจำ

5.2 เกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง เป็นเกมที่ฝึกทักษะการเล่น ผู้เล่นจะต้องฝึกทักษะการจัดวางตัวเลขอย่างไรให้เรียงครบ 1 ถึง 15 ติดต่อกัน เมื่อเรียงครบก็จะผ่านเกมเป็นผู้ชนะ โดยมีการจับเวลาในการเล่น ดังภาพที่ 11-12

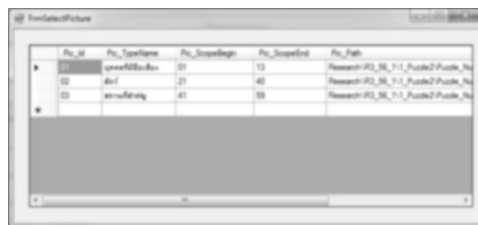


ภาพที่ 11 เริ่มเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง

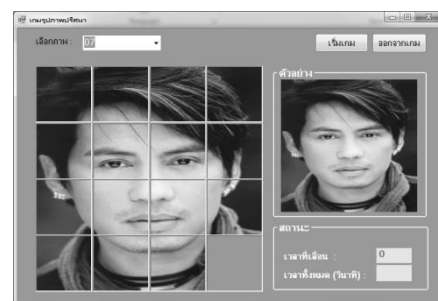


ภาพที่ 12 ขณะเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง

5.3 เกมตารางปริศนารูปภาพ 15 ช่อง เป็นเกมที่พัฒนาต่อจากเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง เพื่อฝึกความจำตำแหน่งรูปภาพ พัฒนาให้อาจารย์สามารถบันทึกภาพเพิ่มเติมลงในฐานข้อมูล ดังภาพที่ 13-14

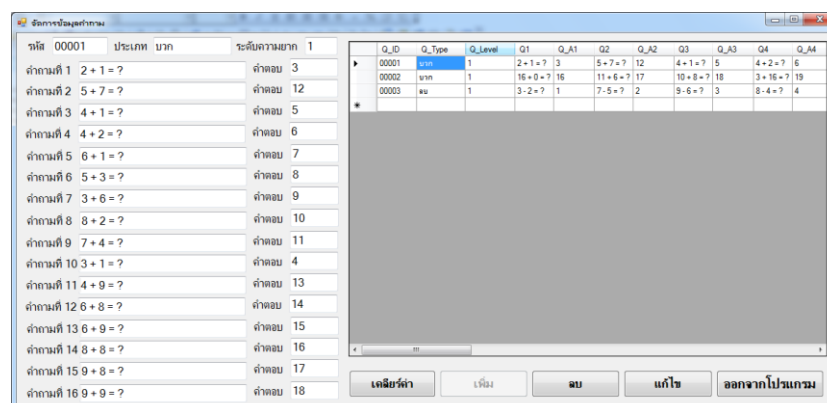


ภาพที่ 13 การเลือกหมวดภาพปริศนา

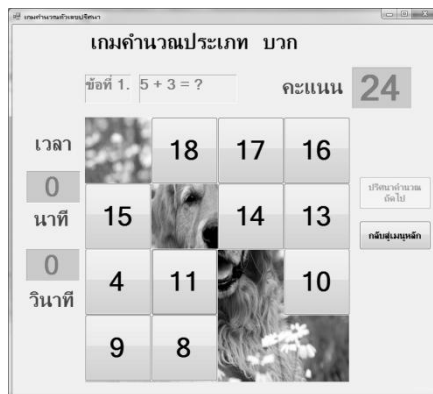


ภาพที่ 14 ภาพตารางปริศนารูปภาพ 15 ช่อง

5.4 เกมคำนวณ บวก ลบ คูณ หาร 16 ช่อง เป็นเกมที่พัฒนาต่อจากเกมตารางปริศนารูปภาพ 15 ช่อง เพื่อฝึกทักษะการคำนวณพื้นฐาน ให้รวดเร็ว และแม่นยำยิ่งขึ้น พัฒนาให้อาจารย์สามารถบันทึกแบบทดสอบ ตามหมวด บวก ลบ คูณ หาร และกำหนดระดับความยากง่ายได้ตามที่อาจารย์กำหนด ดังภาพที่ 15-17



ภาพที่ 15 ฐานข้อมูลแบบทดสอบ บวก ลบ คูณ หาร



ภาพที่ 16 การเล่นเกม บวก ลบ คูณ หาร



ภาพที่ 17 การเล่นเกม บวก ลบ คูณ หาร

5.5 ประเมินประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้นำผลลัพธ์จากการเล่นเกมชนะของผู้เล่น 1 คน ที่เล่นเกมทั้ง 2 แบบ จำนวนทั้งหมด 10 ครั้ง เปรียบเทียบความเร็วในการเล่นเกมนัดภาพที่ 18



ภาพที่ 18 กราฟเปรียบเทียบความเร็วในการเล่นเกมนัดปริศนาตัวเลข และปริศนารูปภาพ

ผลการประเมินความพึงพอใจ ระบบที่พัฒนาได้ทำการประเมินความพึงพอใจการทำงานของระบบ โดยตัวเลขของระดับประสิทธิภาพต่อแบบประเมินแต่ละด้านมีความหมายดังนี้

5 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับดีมาก

4 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับดี

3 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในระดับพอใช้

2 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นต้องปรับปรุงแก้ไข

1 หมายถึง ระบบที่พัฒนาขึ้นไม่สามารถนำไปใช้งานได้

โดยตัวเลขแสดงผลการประเมินคุณภาพของระบบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงผลการประเมินคุณภาพของระบบ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.
1. ภาพ		
1.1 ภาพมีความชัดเจน ดูง่าย น่าสนใจ	4.10	0.61
1.2 ความสวยงามของภาพ	3.95	0.51
2. ข้อความ	4.40	0.82
2.1 รูปแบบตัวอักษรอ่านง่าย	4.20	0.71
2.2 ขนาดตัวอักษรเหมาะสม	4.20	0.55
2.3 ขนาดของตัวอักษรเหมาะสมกับระดับผู้เรียน	4.15	0.72
2.4 สีพื้นของพื้นที่หลัง และสีตัวอักษรแตกต่างกันอย่างเด่นชัด และสวยงาม	4.10	0.61
3. ภาษาที่ใช้เข้าใจได้ง่าย	4.25	0.62
4. วิธีการเล่นไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน	4.20	0.59
5. ระยะเวลาในการเล่นไม่มากไม่น้อยเกินไป	4.05	0.77
6. เล่นเกมแล้วได้รับความสนุกสนานเพลิดเพลิน	4.20	0.67
7. เนื้อหาที่นำมาทำเกมคอมพิวเตอร์มีความน่าสนใจ	4.30	0.47
8. การออกแบบหน้าจอมีความเป็นมาตรฐานเดียวกัน	4.20	0.67
ผลการประเมินความพึงพอใจเฉลี่ยทั้งหมด	4.17	0.64

จากผลการประเมินสามารถสรุปผลได้คือ การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือฝึกทักษะการจดจำของเกมตารางปริศนา ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี

6. สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนาฐานข้อมูลฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนา เพื่อให้ผู้เล่นพัฒนาการเรียนรู้ วิธีเล่น กฎกติกา และการจดจำ ทำให้ผู้เล่นใช้เวลาลดลง โดยดูจากสถิติจำนวนการเล่น 10 ครั้ง ผู้เล่นใช้เวลาเล่นเกมตารางปริศนาตัวเลข 15 ช่อง นานที่สุด 217 วินาที เร็วที่สุด 86 วินาที ค่าเฉลี่ย 134.3 วินาที ส่วนเกมตารางปริศนารูปภาพ 15 ช่อง ผู้เล่นใช้เวลานานที่สุด 489 วินาที เร็วที่สุด 124 วินาที ค่าเฉลี่ย 245.8 วินาที ดังภาพที่ 18 ในการออกแบบจอภาพ ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้ ผู้เล่น และงานวิจัย ศรีัญญา ผาเป้า (2551) และอัปสรธิ์ ชอ (2549-2550) ส่วนการพัฒนาแบบทดสอบเกมการคิดเลข บวก ลบ คูณ และหารให้คิดเป็น คิดเร็ว ผู้วิจัยพัฒนาให้สอดคล้องกับตำราคณิตคิดเป็นคิดเร็ว สุวรร กาญจนมยุร (2555) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานมีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี

7. ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาระบบฐานข้อมูลฝึกทักษะการจดจำด้วยเกมตารางปริศนาเพื่อช่วยในการพัฒนาทักษะการคิด การจดจำ การคำนวณตัวเลข และยังเพิ่มความเพลิดเพลินในการเล่น เกม งานวิจัยนี้พัฒนาระบบฐานข้อมูล ยังไม่ได้ พัฒนารายงาน ซึ่งในอนาคตมีการพัฒนาระบบให้รองรับรายงานต่างๆ ผลสรุปประสิทธิภาพของการจดจำของเกม ในด้านความเร็ว สถิติจัดลำดับการเล่นของผู้เล่น ในเฟสที่ 3

7. รายการอ้างอิง

- ทิณกร เจริญปรีดี. (2548). เล่น 300 เกมฮิตบนคอมฯ เครื่องแกง. นนทบุรี: สำนักพิมพ์ไอดีซี
- บรรจบ ยศกำจร และคณะ. 2552. ความสามารถในการจำตัวเลขของเด็กที่อยู่ในภาวะเสี่ยงต่อการมีปัญหาทางการเรียนรู้. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 : มกราคม – เมษายน 2552 : 52-71.
- วาริน นิลศิริสุข. 2553. ไขความลึกลับปริศนา 15 ตัวเลข. กรุงเทพฯ : Bear Publishing Co., Ltd.
- ศรัญญา ผาเป้า. 2551. “ผลการใช้เกมคอมพิวเตอร์เป็นสื่อเสริม วิชาวิทยาศาสตร์สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 2 ที่มีระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทางวิทยาศาสตร์ต่างกัน”. วิทยานิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล. 2552. โครงสร้างข้อมูล: ฉบับทอจางา. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุร กาญจนบุรี. 2556. คณิตคิดเป็น-คณิตคิดเร็ว ตอน บวก ลบ คูณ หาร. กรุงเทพฯ : ไฮเอ็ดพับลิชชิง.
- อัปสร อีซอ. 2549-2550. การพัฒนารูปแบบเกมในการจัดการเรียน การสอน สายวิชาการตลาด (ศึกษาเฉพาะกรณีมหาวิทยาลัยราชภัฏกลุ่มภูมิศาสตร์ภาคใต้). วิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- Hayes, Richard 2001. "The Sam Loy 15-Puzzle". Trinity College Dublin, Department of Computer Science.

**คาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการดำเนินงานของอาคารสำนักงานขนาดใหญ่
กรณีศึกษา ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร(สำนักงานใหญ่บางเขน)
CARBON FOOTPRINT EVALUATION OF A LARGE COMMERCIAL
BUILDING: CASE STUDY OF THE BANK FOR AGRICULTURE AND
AGRICULTURAL CO – OPERATIVES(BANGKEAN HEAD OFFICE)**

สมบุญ ลำจิตร

**นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยศรีปทุม**

E-mail: som-2504@hotmail.com

ชลธิศ เอี่ยมวรฤทธิกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : chonlathis.ei@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ ประเภทสำนักงาน กรณีศึกษาของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน โดยใช้ข้อมูลกิจกรรมระหว่างเดือน เมษายน 2556 ถึงเดือน มีนาคม 2557 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการ ขององค์กรและรวมถึงการเผยแพร่อ้างอิงสู่สาธารณะสำหรับอาคารประเภทเดียวกัน ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน รวม ทั้งหมดเป็น 5,393.16 ton CO₂e ต่อปี โดยแบ่งเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 1 (ทางตรง) คิดเป็น 229.07 ton CO₂e ต่อปี ประเภทที่ 2 (โดยอ้อม) คิดเป็น 5,074.75 ton CO₂e ต่อปี และประเภทที่ 3 (ทางอ้อมด้าน อื่น ๆ) คิดเป็น 89.34 ton CO₂e ต่อปี โดยที่กิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเภทที่ 2 เป็นกิจกรรมที่ส่งผลต่อ การปลดปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 94.09 % ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด โดยมีอิทธิพลจากระบบปรับอากาศและความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของสภาพอากาศ ดัชนีการปล่อยก๊าซเรือน กระจกเมื่อคำนวณเฉลี่ยต่อพนักงานเท่ากับ 3.19 ton CO₂e ต่อคนต่อปี และเฉลี่ยต่อพื้นที่ใช้สอยของอาคาร สำนักงานทั้งหมดเป็นตารางเมตร (ไม่รวมพื้นที่อาคารจอดรถยนต์) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.11 ton CO₂e ต่อตารางเมตร ต่อปี

คำสำคัญ : ก๊าซเรือนกระจก, คาร์บอนฟุตพริ้นท์, การใช้พลังงานในอาคาร, การอนุรักษ์พลังงาน, การอนุรักษ์ สิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

The research studies greenhouse gas emission for a large commercial office building, using the Bank for Agriculture and Agricultural Co-Operatives (Headquarter, Bangkok) as a case study. The objective is to obtain CO₂ emission data to be used for the organization's facility management as well as to be published for future public reference. The activity data of the organization recorded between April 2556 and March 2557 are utilized for the investigation. The study found that the total amount of greenhouse gases emitted from the Bank for Agriculture and Agricultural Co-Operatives (Headquarters) is 5,393.16 tons of CO₂e per year, which is divided into three types: a direct emission (type 1) is about 229.07 ton of CO₂e per year; indirect (type 2) is 5,074.75 ton of CO₂e per year; and others (type 3) is 89.34 ton of CO₂e per year. The second type dominates the most carbon footprint of the organization with 94.09 % of the total amount. This is influenced by the electricity usage for the air-conditioning system which correlates to operating ambient temperature. The emissions index of the total greenhouse gas emission can be evaluated to be 3.19 ton of CO₂e per person per year and 0.11 tons of CO₂e per square meter per year (excluding car park area).

KEYWORDS : Carbon Footprint, Energy Conservation, Environmental Conservation Commercial Building
Energy Management, Greenhouse gas emission

1. บทนำ

ปัญหาโลกร้อนเป็นเรื่องสำคัญที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นปัญหาที่เป็นผลจากการดำเนินกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะจากการใช้พลังงานนับแต่การปฏิวัติอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 19 ที่ได้มีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติในปริมาณมากอย่างต่อเนื่อง ได้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก โดยในปี ค.ศ. 2007 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) หรือคณะกรรมการนานาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ [1] ได้รายงานว่ามีความเป็นไปได้สูง มากกว่าร้อยละ 90 ที่สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดจากการกระทำของมนุษย์ อาทิ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้โลกร้อนขึ้นในรอบ 50 ปีที่ผ่านมา

จากภาวะปัญหาดังกล่าว องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน):อบก. (Thailand Greenhouse Gas Management Organization : TGO) ได้ถูกจัดตั้งขึ้น เพื่อทำหน้าที่รวบรวมปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยเพื่อเป็นฐานข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์บริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาพรวมของประเทศ จากการศึกษาผลงานวิจัยที่มีการเผยแพร่ อาทิ เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมภายในสถานศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2555) พบว่ามีปริมาณ 3,627.53 ton CO₂e ต่อปี โดยมีแหล่งกำเนิดหลัก คือการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด 93.38 % ของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด [2] และการวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2554) พบว่าการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่เกิดก๊าซเรือนกระจกสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 52.9 % รองลงมาเป็นการเดินทางไปกลับ และการรับประทานอาหารของนิสิตปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 24.7 และ 21.5 ตามลำดับ [3]

การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กร ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (2557) ผลการศึกษามีปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด 34,355 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี โดยที่กิจกรรมการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่ปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์มากที่สุด 91 % ของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมด [4] การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์อาคารสำนักงานขององค์กรและแนวทางเชิงวิศวกรรมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกรมควบคุมมลพิษ (2555) ผลการศึกษามีปริมาณ GHGs ของกรมควบคุมมลพิษเท่ากับ 3,464.74 ton CO₂e ต่อปี โดยมีการใช้ไฟฟ้าเป็นกิจกรรมที่มีปริมาณ GHGs มากที่สุดเช่นกัน คิดเป็น 80% ของการปล่อยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดในองค์กร [5]

จากการศึกษาผลงานวิจัยที่มีข้อมูลเผยแพร่ พบว่ายังขาดรายงานผลงานศึกษาวิจัยสำหรับองค์กร หรืออาคารธุรกิจขนาดใหญ่ที่มีพื้นที่ใช้สอยในหลังเดียวกันตั้งแต่ 10,000 ตารางเมตรขึ้นไป ตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2535 ประเภทสำนักงานธุรกิจเอกชนหรือของรัฐ ที่เผยแพร่สู่สาธารณะ ถึงแม้หลายองค์กรได้มีการดำเนินงาน แต่เป็นข้อมูลสำหรับการใช้ภายในองค์กรเท่านั้น ดังนั้น การศึกษาคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขนขึ้นนี้ จึงเป็นกรณีศึกษาโดยมีเจตนาเพื่อให้มีการเผยแพร่ข้อมูลอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ต่อสาธารณะ และเป็นประโยชน์กับผู้สนใจในการศึกษาค้นคว้าในหัวข้อนี้ต่อไปนอกจากประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกขององค์กร

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- เพื่อศึกษาปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ที่ปล่อยจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน
- เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลดัชนีชี้วัดในการบริหารจัดการ และการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน
- เป็นข้อมูลอ้างอิงเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของสำนักงานและอาคารอื่น ๆ ที่มีลักษณะการใช้งานรูปแบบโครงสร้างที่ใกล้เคียงกันของประเทศ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยทำได้โดยการรวบรวมข้อมูลกิจกรรมของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน ระหว่างเดือน เมษายน 2556 ถึงเดือน มีนาคม 2557 เป็นระยะเวลา 12 เดือน มีขอบเขตที่มาของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางที่องค์กรบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) กำหนดไว้สำหรับการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO หรือ Corporate Carbon Footprint: CCF) [6] โดยได้ให้ความหมายของคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร คือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากกิจกรรมต่างๆ ขององค์กร เช่นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง การใช้ไฟฟ้า การจัดการของเสีย และการขนส่งวัตถุดิบในรูปแบบตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยพิจารณาจาก 3 ส่วนหลัก แบ่งเป็นประเภทดังนี้

ประเภทที่ 1: การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางตรง (Direct Emissions) จากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กร โดยตรง เช่น การเผาไหม้ของเครื่องจักร การใช้พาหนะขององค์กร (ที่องค์กรเป็นเจ้าของเอง) การใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย การรั่วซึม/รั่วไหล จากกระบวนการหรือกิจกรรม เป็นต้น

ประเภทที่ 2: การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Energy Indirect Emissions) โดยการซื้อพลังงานมาใช้ในองค์กร ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน พลังงานไอน้ำ เป็นต้น

ประเภทที่ 3: การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทางอ้อมด้านอื่น ๆ การเดินทางของพนักงานด้วยพาหนะที่ไม่ใช่ขององค์กร การเดินทางไปสัมมนานอกสถานที่ การใช้วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นต้น

จากแนวทางดังกล่าวข้างต้น จึงได้กำหนดขอบเขตที่มาของกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน ปรากฏตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แหล่งที่มาของก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ จากการดำเนินการของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร

ประเภทของการปล่อย GHGs	แหล่งที่มาของการปล่อย GHGs
ประเภทที่ 1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรงจากการใช้พลังงานขององค์กร (Direct GHG Emissions)	1.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ที่มีการเคลื่อนที่ (Mobile Combustion) - การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากกิจกรรมของยานพาหนะที่องค์กรเป็นเจ้าของ ซึ่งได้แก่ - น้ำมันดีเซล - น้ำมันแก๊สโซฮอล์ 1.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่อยู่กับที่ 1.2.1 การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการผลิตกระแสไฟฟ้าสำรอง - น้ำมันดีเซล 1.2.2 การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการหุงต้มร้านอาหาร - ก๊าซ LPG
ประเภทที่ 2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงาน	2.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้ไฟฟ้า - การใช้ไฟฟ้าของ Office Buildings และ Operational Buildings
ประเภทที่ 3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่นๆ (Other Indirect GHG Emission)	3.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการบำบัดน้ำเสีย 3.2 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งของเสียไปกำจัด 3.3 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการใช้น้ำประปา 3.4 การใช้กระดาษภายในสำนักงาน

วิธีการคำนวณหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ใช้แนวทางที่กำหนดโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) [6] โดยมีสูตรการคำนวณหาค่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ดังนี้

$$\text{CO}_2 \text{ emission} = \text{activity data} \times \text{emission factor}$$

โดยที่ Activity data เป็นข้อมูลกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
Emission factor เป็นค่าคงที่ที่ใช้เปลี่ยน Activity data ให้เป็นค่าปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

จากข้อกำหนดขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ GTO กำหนดเกณฑ์ระดับคุณภาพของข้อมูล เป็นระดับคะแนนต่าง ๆ ตามวิธีการได้มาซึ่งข้อมูล โดยค่าระดับคุณภาพข้อมูลผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้จาก ผลคูณของคุณภาพการได้มาซึ่งข้อมูลกิจกรรม (QA) และข้อมูล Emission Factor (QE) ดังแสดงในตาราง 3.2 โดยการวิเคราะห์ระดับคุณภาพของข้อมูลได้อธิบายไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ระดับคะแนนอ้างอิงของคุณภาพข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	ระดับคุณภาพของข้อมูล			
ข้อมูลกิจกรรม (QA)	X = 6 คะแนน	Y = 3 คะแนน		Z = 1 คะแนน
	เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง	เก็บข้อมูลจากมิเตอร์และใบเสร็จ		เก็บข้อมูลจากการประมาณค่า
Emission Factors (QE)	A = 4 คะแนน	B = 3 คะแนน	C = 2 คะแนน	D = 1 คะแนน
	จากการตรวจวัดที่มีคุณภาพ	จากผู้ผลิต	จากระดับประเทศ	จากระดับสากล

ที่มา: แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (GTO) 2554

ตารางที่ 3.3 การวิเคราะห์ระดับคุณภาพของข้อมูลมาตรฐานของ GTO ที่กำหนด

ระดับ	ระดับคะแนนโดยรวมของข้อมูล	คำอธิบาย
1	1 - 6	ความไม่แน่นอนสูง คุณภาพข้อมูลไม่ดี
2	7 - 12	ความไม่แน่นอนเล็กน้อย คุณภาพข้อมูลปานกลาง
3	13 - 18	ความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพข้อมูลดี
4	19 - 24	ความไม่แน่นอนต่ำ คุณภาพข้อมูลดีเยี่ยม

ที่มา: แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (GTO) 2554

4. ผลการศึกษาและวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์ การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขนรวมทั้งหมดเป็น 5,393,167.91 kg CO₂e/ปี โดยแบ่งเป็นการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกประเภทที่ 1 คิดเป็น 229,071.30 kg CO₂e/ปี ประเภทที่ 2 คิดเป็น 5,074,749 kg CO₂e/ปี และ

ประเภทที่ 3 คิดเป็น 89,347.61 kg CO₂e/ปี ดังแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 4.1 โดยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดสามารถคิดเฉลี่ยต่อจำนวนพนักงาน (1,689 คน) และพื้นที่ใช้สอย (50,270 ตารางเมตร) ไม่รวมลานจอดรถเท่ากับ 3.19 ton CO₂e ต่อคนต่อปี และ 0.107 ton CO₂e ต่อตารางเมตรต่อปี

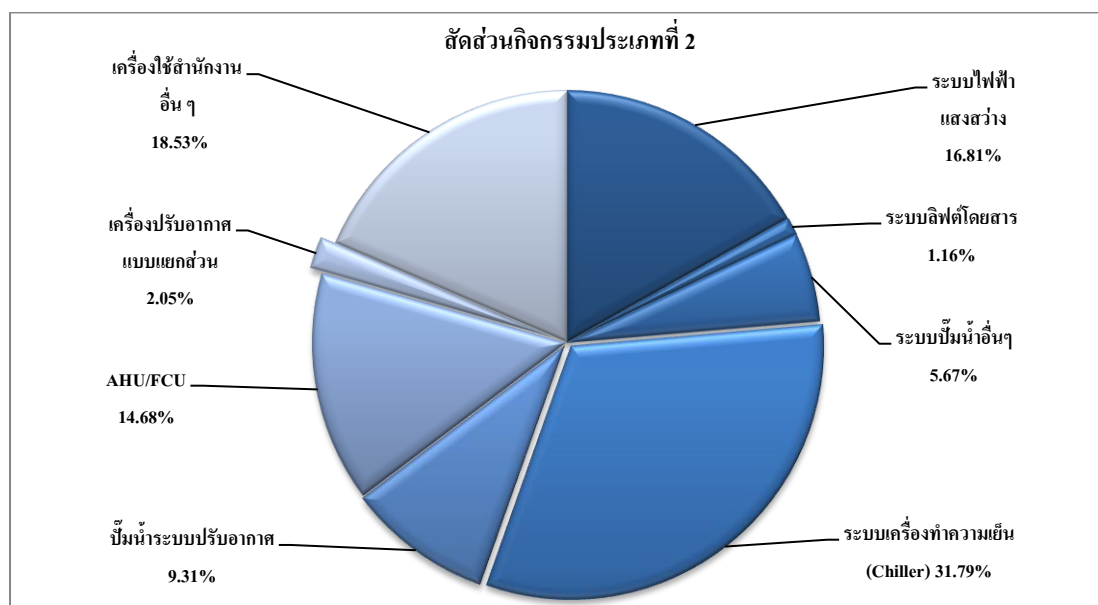
ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินการปล่อย GHGs ของธนาคารเพื่อการเกษตรฯ อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน

	กิจกรรม	หน่วย	Activity data	Emission factor	Activity data x Emission factor	สัดส่วน ปริมาณรวม
				kg CO ₂ e/หน่วย		
ประเภทที่ 1	การเผาไหม้จากน้ำมันดีเซล	Lite	67,780.91	2.7746	186,031.49	3.45%
	การเผาไหม้น้ำมันแก๊สโซฮอล์	Lite	5,237.15	2.2763	11,921.32	0.22%
	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า น้ำมันดีเซล	Lite	3,600.00	2.7080	9748.80	0.18%
	เชื้อเพลิงในการหุงต้มสโมสร	Kg	6,864.00	3.1133	21,369.69	0.40%
	รวมกิจกรรมประเภทที่ 1				229,071.30	4.25%
ประเภทที่ 2	การใช้ไฟฟ้า	kWh	8,730,000	0.5813	5,074,749	94.09%
	รวมกิจกรรมประเภทที่ 2				5,074,749	94.09%
ประเภทที่ 3	การขนส่งจากของเสียไปกำจัด	km	19,800	0.0730	1,445.40	0.03%
	กิจกรรมการใช้น้ำประปา	m ³	79,830	0.5081	40,561.62	0.75%
	วัสดุสำนักงาน(กระดาษ)	kg	24,950	1.8974	47,340.59	0.88%
	รวมกิจกรรมประเภทที่ 3				89,347.61	1.66%

จากตารางที่ 4.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบการปล่อย GHGs ทั้ง 3 ประเภท กิจกรรมประเภทที่ 2 การปล่อย GHGs ทางอ้อมจากจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากที่สุด คือ 5,074,749 kg CO₂e ต่อปี คิดเป็น 94.09 % ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดขององค์กร จากการศึกษาลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของธนาคารฯ ในภาพรวมของกิจกรรมประเภทที่ 2 พบว่ามีรายละเอียดสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าปรากฏรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อย GHGs ตามตารางที่ 4.2

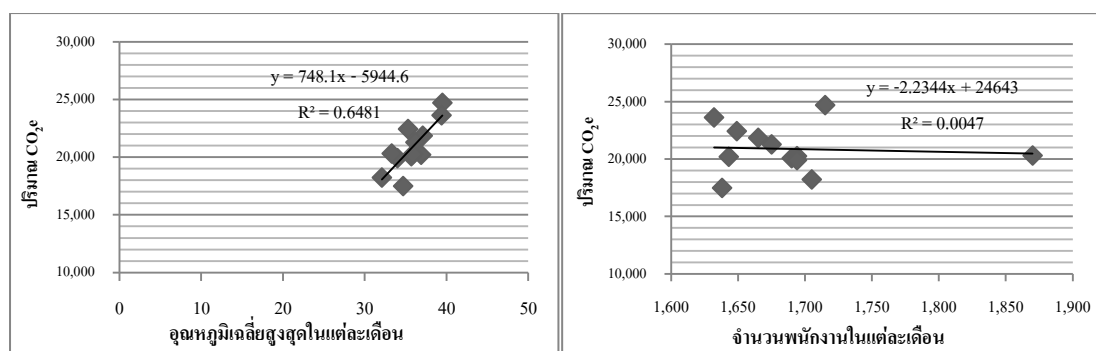
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ลำดับ ที่	รายการ	จำนวน	activity data (kWh)	emission factor kg CO ₂ e /หน่วย	activity data x emission factor [kg CO ₂ e/ปี]	ระยะ เวลา (เดือน)
1	ปริมาณไฟฟ้าแสงสว่าง	17982 (หลอด)	1,467,493	0.5813	853,053.68	12
2	ลิฟต์โดยสาร	18 ชุด	101,392	0.5813	58,939.17	12
3	ปั๊มน้ำทั่วไป	17 ชุด	495,206	0.5813	287,864.48	12
4	4.1 Chiller Water Cooled	7 ชุด	2,775,074	0.5813	1,613,150.53	12
	4.2 ปั๊มน้ำทำความเย็น	43 ชุด	812,560	0.5813	742,341.13	12
	4.3 AHU/FCU	142 ชุด	1,281,634	0.5813	745,014.08	12
	4.4 Split-type	20 ชุด	179,098	0.5813	104,109.90	12
5	อื่น ๆ (เครื่องใช้สำนักงาน)		1,617,542	0.5813	940,277.16	12



ภาพที่ 4.2 การแสดงปริมาณสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ก่อให้เกิด GHGs

จากภาพที่ 4.2 พบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเป็นสัดส่วนที่ส่งผลให้เกิดการปล่อย GHGs มากที่สุดของกิจกรรมประเภทที่ 2 และรวมถึงขององค์กร ดังนั้น การวิจัยจึงได้ศึกษาเพิ่มเติม เพื่อให้ทราบถึงอิทธิพลของการแปรผันกับอุณหภูมิอากาศและกับจำนวนพนักงานในแต่ละเดือนต่อปริมาณการปล่อย GHGs ขององค์กร จึงได้เปรียบเทียบปริมาณ CO₂e ขององค์กรในแต่ละเดือน กับปัจจัยทั้ง 2 อย่างนี้ ดังแสดงผลการศึกษาปรากฏตามภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ CO₂e กับอุณหภูมิภาพที่ 4.4 สัมพันธ์ CO₂e กับจำนวนพนักงาน

ภาพที่ 4.3 และ 4.4 สรุปได้ว่า การปล่อย GHGs ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน มีแนวโน้มสัมพันธ์กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อมของสถานที่ตั้งของสำนักงานที่เป็นผลจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศโดยตรง ส่วนปัจจัยอัตราจำนวนการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพนักงานมีผลต่อการปล่อย GHGs เล็กน้อย และไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ต่อกันได้

จากการประเมินระดับคะแนน โดยรวมของข้อมูลตามมาตรฐานที่องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (มหาชน) กำหนดดังแสดงในตารางที่ 3.3 พบว่า ภาพรวมระดับคุณภาพของข้อมูลของธนาคารเพื่อการเกษตรฯ อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน ในแต่ละประเภทกิจกรรมอยู่ในระดับ 1 และ 2 โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวมเท่ากับ 1.99 ซึ่งคะแนนที่ได้ค่อนข้างน้อยนี้เป็นข้อจำกัดในการประเมินปริมาณ CO₂e ของประเทศ เนื่องจากการจัดทำค่า Emission Factor เป็นข้อมูลกลางไม่ได้ถูกประเมินคำนวณเฉพาะเจาะจงสำหรับของธนาคารฯ ค่าการปล่อย GHGs ของธนาคารฯ ส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าในกิจกรรมที่ 2 ที่มีข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยจากมาตรฐาน Thailand Grid Mix Electricity LCI database 2552 (2009) Update_30 April 13 และองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก(มหาชน) ปรับปรุงเมื่อเดือนมกราคม 2557 มีคุณภาพการจัดเก็บข้อมูลอยู่ที่ระดับ 2 ดังแสดงคุณภาพการจัดเก็บข้อมูล และผลคูณการถ่วงน้ำหนักของข้อมูล ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 คุณภาพการจัดเก็บข้อมูลในการศึกษาของธนาคารเพื่อการเกษตรฯ อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน

ประเภท ของ กิจกรรม	รายการ	คะแนนการ เก็บข้อมูล (A)	คะแนนค่า EF (B)	ผลการ ประเมิน (A x B)	ระดับ คุณภาพ (Q)	% GHGs	ผลคูณ ถ่วง น้ำหนัก
1	การใช้น้ำมันดีเซล(รถยนต์)	Y (3)	B (3)	9	2	3.45	0.069
2	การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์(รถยนต์)	Y (3)	B (3)	9	2	0.22	0.004
3	การใช้น้ำมันดีเซล(เครื่องกำเนิดไฟฟ้า)	Y (6)	F (1)	6	1	0.18	0.002
4	การใช้ก๊าซ LPG (สโมสรร้านอาหาร)	X (6)	B (3)	18	3	0.40	0.012
5	การใช้ไฟฟ้าภายในสำนักงาน	X (6)	C (2)	12	2	94.09	1.882
6	การขนส่งทางของเสีย(ขยะ) ไปกำจัด	Z (1)	C (2)	2	1	0.03	0.000
7	การใช้น้ำประปาภายในองค์กร	X (6)	C (2)	12	2	0.75	0.015
8	การใช้วัสดุสำนักงาน(กระดาษ)	X (6)	F (1)	6	1	0.88	0.009
ระดับคุณภาพของข้อมูลเฉลี่ย						100	1.99

5. บทสรุปผลการดำเนินโครงการ

การศึกษาการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร อาคารสำนักงานใหญ่บางเขน ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ มีพื้นที่ใช้สอยรวม 50,270 ตารางเมตรโดยคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์เป็นค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2e) ที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ และก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก หรือ Green House Gases (GHGs) ตามแนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยใช้ข้อมูลที่ได้บันทึกของปี 2556 ตั้งแต่เดือนเมษายน 2556 ถึงเดือนมีนาคม 2557 สามารถสรุปได้ ดังนี้

ปริมาณการปล่อย GHGs รวม เท่ากับ 5,393.16 ton CO_2e ต่อปี โดยเป็นผลจากกิจกรรมประเภทที่ 1 การปล่อย GHGs ทางตรง (Direct GHG emission) เท่ากับ 229.07 ton CO_2e ต่อปี (4.25%) กิจกรรมประเภทที่ 2 การปล่อย GHGs ทางอ้อมจากการใช้พลังงาน (Electricity GHG emission) เท่ากับ 5,074.75 ton CO_2e ต่อปี (94.09%) กิจกรรมประเภทที่ 3 การปล่อย GHGs ทางอ้อมอื่น ๆ (Other indirect GHG emission) เท่ากับ 89.34 ton CO_2e ต่อปี (1.66%)

โดยกิจกรรมที่มีส่งผลต่อปริมาณการปล่อย GHGs ขององค์กรมากที่สุดมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือคิดเป็น 5,074.75 ton CO_2e ต่อปี หรือ (94.09%) โดยส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ซึ่งได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิบรรยากาศขณะทำงาน การคำนวณแบบปันส่วนตามสัดส่วนของพนักงานภายในองค์กร ตามที่องค์กรบริหารก๊าซเรือนกระจกกำหนดเป็นภาคบังคับในกิจกรรมประเภทที่ 1 และกิจกรรมประเภทที่ 2 พบว่า มีค่าเท่ากับ 3.14 ton CO_2e ต่อคนต่อปี และเมื่อนำมารวมกันทั้ง 3 ประเภท มีค่าเท่ากับ 3.19 ton CO_2e ต่อคนต่อปี หรือ คิดเป็นต่อพื้นที่ใช้สอยโดยไม่รวมพื้นที่ลานจอดรถยนต์ เท่ากับ 0.107 ton CO_2e ต่อตารางเมตรต่อปี อย่างไรก็ตามการประเมินตามแนวทางการแปลงปริมาณ GHGs จากกิจกรรมต่าง ๆ ขององค์กรอาคารธุรกิจประเภทสำนักงาน โดยใช้ค่า Emission Factor ระดับประเทศ หรือระดับสากลโดยส่วนใหญ่นั้นส่งผลให้มีข้อจำกัดในคะแนนระดับคุณภาพของผลการประเมิน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) คณะกรรมาการนานาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ. (2007). สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2556, จาก <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/154>
- [2] ชุตินา สุขอนันต์. (2555). การประเมินและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] ธนัท พูลประทีน, มนต์รี สว่างพฤษย์ และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2554). การวิเคราะห์คาร์บอนฟุตพริ้นท์ภาควิชาชีพวิศวกรรมเคมี. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] ไพรัช อุศุภรัตน์, และหาญพล พิงษ์ศรี. (มกราคม- มีนาคม 2557). "Carbon Footprint of Organization: Case Study for Thammasat University". วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- [5] สิริมา จิวสม. (2555). การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางเชิงวิศวกรรมในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (GTO).(2554) แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 ธันวาคม 2556, จาก <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?op=history>
- [7] วันชัย ตันติวิทยาพิทักษ์. (มีนาคม 2550). โลกร้อนความจริงที่ทุกคนต้องรู้. *สารคดี*, 23 (265). สืบค้นเมื่อ 25 กรกฎาคม 2556, จาก <http://blog.eduzones.com/nunthida/1559>

**การพัฒนาระบบเก็บข้อมูลและควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน
แบบผสมผสาน**

**DEVELOPMENT OF DATA ACQUISITION AND CONTROL SYSTEMS FOR
HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEM**

สิทธิชัย คล้ายเจ็ก

นักศึกษาปริญญาโท คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : baanklayjek@hotmail.co.th

นริศ ประทินทอง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : naris.pra@kmutt.ac.th

อุสาค์ บุญบำรุง

หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาด สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงาน

ต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-mail : usaboonbumroong@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเก็บข้อมูลและควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานประกอบไปด้วย โซลาร์เซลล์ กังหันลมและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry pi) เชื่อมต่อกับระบบผ่านPort RS 485 โดยใช้ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) เขียนด้วยโปรแกรมภาษา C,C++ เพื่อแสดงและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศและค่าพลังงานไฟฟ้าต่างๆในระบบ สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ระบบและควบคุมการทำงานของระบบอย่างเหมาะสมต่อไป โดยการติดตั้งทดสอบกับระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้ายได้รุ่น PHPS 39-25 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน ผลจากงานวิจัยพบว่าบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ได้อย่างรวดเร็วและมีเสถียรภาพ พร้อมทั้งดาวน์โหลดข้อมูลในรูปแบบไฟล์หรือโหลดข้อมูลผ่านเมมโมรี่การ์ด (SD card) ที่เชื่อมต่ออยู่ภายในตัวบอร์ด ซึ่งบอร์ดยังมีราคาถูกกว่าการนำเข้าระบบเก็บข้อมูลจากต่างประเทศประมาณ10เท่า นอกจากนี้บอร์ดที่พัฒนาขึ้นยังสามารถควบคุมการทำงานของควัดีเซลเจนเนอเรเตอร์อัตโนมัติจากปริมาณประจุของแบตเตอรี่ และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานด้วยโปรแกรมได้ตามต้องการ

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสาน,บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์,การเก็บข้อมูล และควบคุม

ABSTRACT

The purpose of the study is to develop analyzing and controlling system for electricity production from hybrid renewable energy sources including solar, wind and diesel generator. The system is connected through microcontroller board 'Raspberry Pi' and transmit meteorological data via Port RS 845. Weather data and electrical potential energy values will be processed on Linux operating system written in C,C++. The results indicate that Raspberry Pi board can display parameters on web browser and download Excel data file to connected memory storage. The board also is cheaper than importing data acquisition system. This system enable user to control autonomous diesel generator and transform it in appropriate way.

KEYWORDS: hybrid renewable energy system, microcontrollers, data acquisition and control.

1. บทนำ

แม้ว่าการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซลในพื้นที่ห่างไกลที่ระบบไฟฟ้าเข้าไม่ถึงนั้นสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วแต่ปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การนำแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเข้าไปในระบบจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถดำเนินการได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิงและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบแต่ระบบดังกล่าวจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบแสดงผลและเก็บข้อมูลเพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อใช้ในการควบคุมให้ระบบทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด แต่ในปัจจุบันระบบดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง ประกอบกับระบบเก็บข้อมูลส่วนมากไม่รองรับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย ดังนั้นข้อมูลของระบบจะถูกบันทึกไว้ที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ติดตั้งระบบเท่านั้นหากต้องการวิเคราะห์หรือเรียกดูข้อมูลของระบบจำเป็นต้องเดินทางไปเก็บข้อมูลซึ่งเป็นการไม่สะดวกทำให้เสียเวลา แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีการพัฒนาด้านความเร็วประสิทธิภาพและลักษณะของระบบปฏิบัติการมีหลายๆตระกูลที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลอัตโนมัติได้อย่างเหมาะสม เช่น AVR (Arduino), ARM7 cortex และ ARM9 เนื่องจากมีความละเอียดสูงประมวลผลเร็ว (32 Bit) ราคาไม่สูงมาก,สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้หลายชนิด เช่น จอแสดงผล บอร์ดมีขนาดเล็กและสามารถส่งสัญญาณแบบไร้สายได้

ดังนั้นเพื่อให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานเกิดประโยชน์สูงสุด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งานด้านการแสดงผลและติดตามข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานที่สามารถทำงานได้แม่นยำ เสถียรและราคาถูกเพื่อติดตั้งใช้งานและสามารถควบคุมอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานภายในประเทศที่ทำการติดตั้งโดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบอื่นๆ อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบแสดงผลและควบคุมการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน ที่สามารถแสดงผลและควบคุมการทำงานด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ราสเบอร์รี่พายผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ศึกษาการทำงานและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ของระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้ายได้ รุ่น PHPS 39-25 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียนประกอบด้วย

- อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อสายส่งกำลังไฟฟ้า ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Tripower6000TL ขนาด 6 kW
เชื่อมต่อกับแผงโซลาร์เซลล์ชนิด Poly Crystalline Silicon (240W) จำนวน 24 แผง

- อินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Island2224 ขนาด 2.2 kW จำนวน 3 เครื่อง

- ดีเซลเจนเนอเรเตอร์ ขนาด 26 kW 3 เฟส 230/400 V 50 Hz

- กังหันลมผลิตไฟฟ้า ยี่ห้อ A-Wing ขนาด 1 kW ที่ความเร็วลม 5 m/s

- ระบบสะสมพลังงานใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด 2 V 600 Ah จำนวน 24 ลูก รวมความจุของระบบสะสมพลังงาน 28 kWh

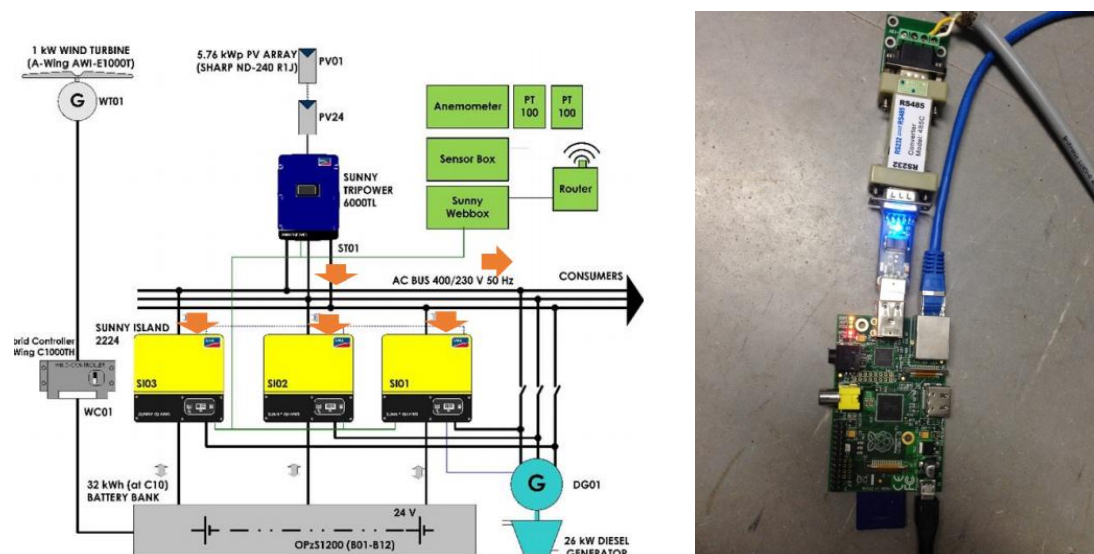
- อุปกรณ์ตรวจวัดข้อมูลทางอุณหภูมิ ยี่ห้อ SMA รุ่น Sunny Sensor Box

- ระบบเก็บข้อมูลของบริษัท SMA Solar Technology AG รุ่น SUNNY WEBBOX ซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยบอร์ดราสเบอร์รี่พาย

- อุปกรณ์ตรวจวัดของบริษัท SMA Solar Technology AG รุ่น SUNNY SENSOR BOX ประกอบด้วยตรวจวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ ตรวจวัดความเร็วลม ตรวจวัดอุณหภูมิได้แผงโซลาร์เซลล์และอุณหภูมิแวดล้อม

- รีโมทคอนโทรลของบริษัท SMA Solar Technology AG รุ่น SUNNY REMOTE CONTROL เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางที่ตัว Master เพื่อใช้ในการตั้งค่าต่างๆ และควบคุมระบบทั้งหมด

อุปกรณ์ในระบบทั้งหมดข้างต้นนำมาเชื่อมต่อกับบอร์ดราสเบอร์รี่พายผ่าน Port RS-485 โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณจาก RS-485 to RS232 to USB เพื่อเชื่อมต่อกับบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 ส่วนประกอบของระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานและการเชื่อมต่อบอร์ดราสเบอรี่พาย

3.2 การนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ราสเบอรี่พายเข้ามาแทนที่อุปกรณ์เก็บข้อมูลเดิมของทางบริษัท SMA จะมีโปรแกรมที่ชื่อว่า YASDI เขียนด้วยภาษา C ทำหน้าที่เชื่อมต่อสื่อสารกับตัวอุปกรณ์ของบริษัท SMA เพื่อให้ นักพัฒนาเข้ามาศึกษาที่ใช้ในการปรับปรุงพัฒนาระบบ ซึ่งใช้ได้ทั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Window32) และระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานวิจัยนี้เป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ซึ่งถือว่าโปรแกรม YASDI เป็นการเชื่อมต่อที่จะให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์กับชุดอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานสามารถเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างกันและสามารถค้นหาพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แบบ Real Time โดยจะต้องติดตั้งโปรแกรม ซึ่งดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก <http://www.sma.de/en/products/monitoring-systems/yasdi.html> เมื่อโหลดโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต่อไปเป็นการติดตั้งโปรแกรมลงบอร์ดราสเบอรี่พายโดยพิมพ์คำสั่งต่อไปนี้

```
cd /usr/local/src/libyasdi_1_8_1/
cd projects/generic-cmake
mkdir build-gcc
cd build-gcc
cmake ..
make
sudo make install
export LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY_PATH:/usr/local/lib
sudo ldconfig /usr/local/lib
```

เมื่อทำการติดตั้งโปรแกรมในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์หลังจากนั้นทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่าน RS-485 to RS232 to USB และทำการทดสอบโดยพิมพ์คำสั่งบนหน้าจอ command : yasdishell /etc/myyasdi.ini จะแสดงดังในภาพประกอบที่ 2


```

pi@raspberrypi ~
login as: pi
pi@10.128.30.169's password:
Linux raspberrypi 3.12.22+ #691 PREEMPT Wed Jun 18 18:29:58 BST 2014 armv6l

The programs included with the Debian GNU/Linux system are free software;
the exact distribution terms for each program are described in the
individual files in /usr/share/doc/*/*copyright.

Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent
permitted by applicable law.
Last login: Mon Oct 6 14:59:09 2014 from 10.128.28.11
pi@raspberrypi ~$ yasdi /etc/myyasdi.ini
*****
YASDI Mini Shell (build for Linux)

(This is an test program using YASDI)

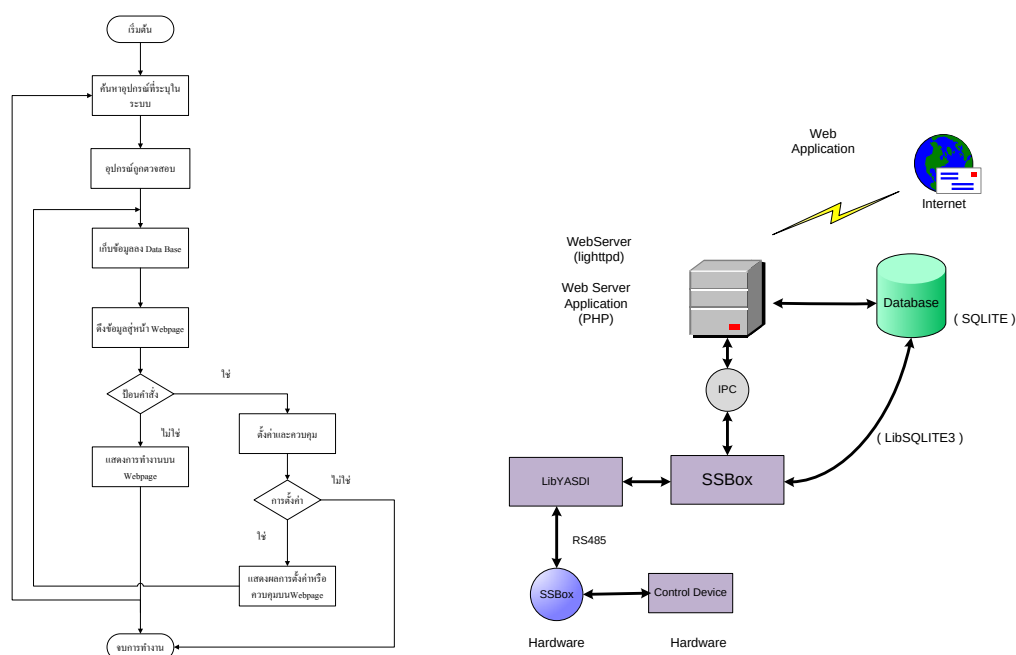
*****
Switching driver 'COM0' on...success

Command ('?' for help): ?
Commands:
? : This help...
e : Start device detection (sync)
b : Start device detection (async)
z : Stop (async) device detection
d : Show device list
a : Show spot channel values
p : Show parameter channel values
t : Show test channel values
s : Set parameter
m : Remove device
l : Change access level
q : Exit
Command ('?' for help):

```

ภาพประกอบที่ 2 แสดงผลการเชื่อมต่อโปรแกรม YASDI บนหน้าจอ

3.3 เมื่อบอร์ดราสเบอร์รี่พาย สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบได้แล้วต่อไปจะเป็นการออกแบบการทำงานในลักษณะตามโฟลว์ชาร์ตภาพประกอบที่ 3 ซึ่งจะเห็นขั้นตอนการทำงานแต่ละขั้นตอนเพื่อที่จะทำให้ง่ายในการออกแบบโปรแกรม



ภาพประกอบที่ 3 โครงสร้างแสดงการออกแบบโปรแกรม

จากภาพประกอบที่ 3 โครงสร้างการทำงานของระบบผ่านโปรแกรม โดยจะเห็นว่าชุดของซอฟต์แวร์นั้นถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป

คือส่วนของซอฟต์แวร์ที่มีผู้ออกแบบได้พัฒนาขึ้นมาอยู่แล้ว ซึ่งตรงกับความต้องการของระบบที่สามารถนำมาใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานได้โดยไม่ต้องมีการเข้าไปแก้ไข Code ใดๆทั้งสิ้น ได้แก่ Lighttpd และ PHP

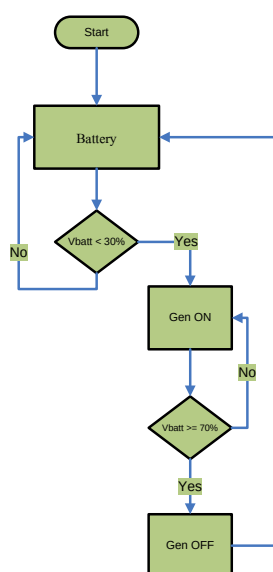
2. ซอฟต์แวร์กึ่งสำเร็จรูป (Library)

คือส่วนประกอบของโปรแกรมที่มีผู้ออกแบบได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อจะนำไปใช้เป็นตัวช่วยในการพัฒนาโปรแกรมต่อไป ซึ่งโปรแกรมกึ่งสำเร็จรูปนี้ไม่สามารถทำงานด้วยตัวเองได้จะต้องถูกเรียกใช้จากทางโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาอีกที ได้แก่ libSqlite3 และ libYasdi

3. ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้น

คือโปรแกรมที่ผู้วิจัยทำการพัฒนาขึ้นมาและผนวกเข้ากับโปรแกรมกึ่งสำเร็จรูปเพื่อให้สามารถทำงานตามที่ต้องการ โดยซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นคือ Web Application, Web Service Application และ SSBox

3.4 ออกแบบการควบคุมดีเซลเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการแสดงผล เก็บข้อมูลซึ่งดูผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์และยังสามารถควบคุมอุปกรณ์ได้เพราะบอร์ดราสเบอร์รี่พาย มีขา I/O สำหรับเชื่อมต่ออินพุตเอาต์พุต GPIO, SPI, I²C, I²S และ UART ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการควบคุมการทำงานของดีเซลเจนเนอเรเตอร์ผ่านอินพุตเอาต์พุต GPIO โดยรับคำสั่งจากสถานะของ % แบตเตอรี่ จากการออกแบบสร้างระบบควบคุมผ่านบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของระบบจะขึ้นอยู่กับปริมาณประจุของแบตเตอรี่โดยกำหนดดีเซลเจนเนอเรเตอร์ทำงานจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าระบบเมื่อค่าปริมาณประจุของแบตเตอรี่ลดลงถึงค่าที่กำหนด (30%) และจะทำงานจนกระทั่งประจุแบตเตอรี่จนถึงค่าที่กำหนด (70%) จึงทำการหยุดการทำงานดีเซลเจนเนอเรเตอร์ ดังจากภาพประกอบที่ 4

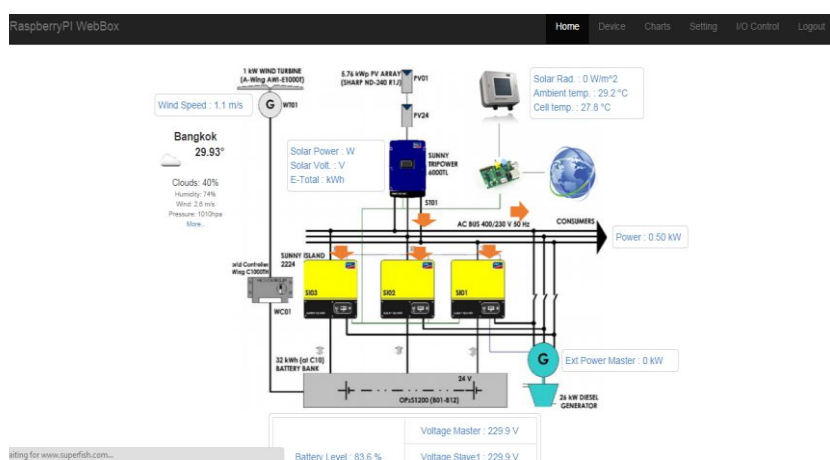


ภาพประกอบที่ 4 โฟลว์ชาร์ตแสดงการควบคุมดีเซลเจนเนอเรเตอร์

4. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาวิจัยจากการศึกษาทางด้านฮาร์ดแวร์ทำให้มีความเข้าใจระบบและสามารถออกแบบโปรแกรมและเลือกใช้อินเตอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเหมาะสมเพราะมีการติดตามผลการทำงานและปรับปรุงแก้ไข ซึ่งดูได้จากข้อมูลที่ได้อินในการเก็บบันทึกเป็นเวลาประมาณ 2 เดือน และผลออกมาข้อมูลไม่มีการสูญหาย และมีการประมวลผลได้รวดเร็ว เสถียรภาพกว่าอุปกรณ์เก็บข้อมูลเดิม ซึ่งจะอธิบายการแสดงผลและการควบคุมได้ดังนี้

4.1 นำข้อมูลขึ้นแสดงผลแบบ Real Time และโดยการเชื่อมต่อทางอินเทอร์เน็ต



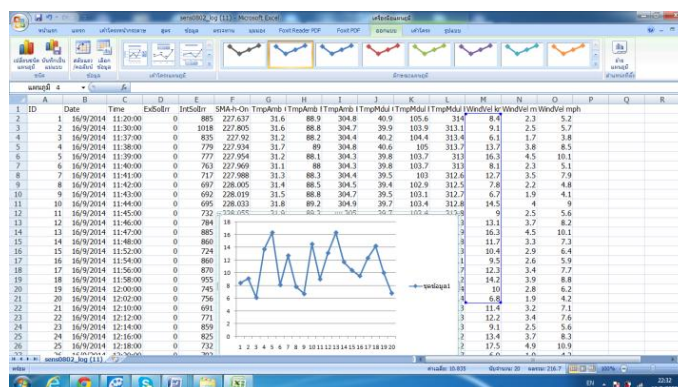
ภาพประกอบที่ 5 การแสดงผลหน้าเว็บเบราว์เซอร์

จากภาพประกอบที่ 5 โดยเป็นการแสดงค่าพลังงานแต่ละอุปกรณ์บนหน้านี้ เพื่อต้องการให้ทราบถึงค่าอุณหภูมิอากาศและค่าพลังงานไฟฟ้าหลัก ๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานนี้ เพื่อให้ง่ายและสะดวกเห็นระบบได้โดยรวม ซึ่งหน้านี้จะประกอบไปด้วยค่าต่างๆ ที่สำคัญดังนี้

- ค่าพลังงานโซล่าเซลล์ที่จ่ายให้กับระบบ
- แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงโซล่าเซลล์
- ค่ากำลังไฟฟ้ากิโลวัตต์รวมทั้งหมดยกต่อชั่วโมง (kW/h)
- ค่าความเข้มแสงอาทิตย์วัดต่อตารางเมตร W/m
- ค่าความเร็วลม เมตรต่อวินาที (m/s)
- ค่าอุณหภูมิที่มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส โดยถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือค่าอุณหภูมิได้แผงโซล่าเซลล์และค่าอุณหภูมิแวดล้อมทั่วไป
- ค่าพลังงานประจุแบตเตอรี่ที่เป็นเปอร์เซ็นต์ (%)
- ค่าภาระโหลดที่มีการถูกจ่ายออกจากระบบในรูปแบบกำลังไฟฟ้า(kW) และแสดงค่าเมื่อระบบได้รับพลังงานในรูปแบบกำลังไฟฟ้า(kW)
- ค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบกำลังไฟฟ้า(kW)ของดีเซลเจนเนอเรเตอร์

The screenshot shows the Raspberry Pi WebBox interface. At the top, there are navigation links: Home, Device, **Charts**, Setting, I/O Control, and Logout. Below the navigation bar, there is a date selection interface with 'Start' and 'End' dropdowns both set to '09/19/2014', and a 'Go' button. The main chart area is titled 'Solar Power (W)' and includes a zoom instruction: 'Click and drag in the plot area to zoom in.' The chart displays two data series: 'Solar Power' (blue line) and 'Generator Power' (black line). The y-axis is labeled 'Power (W)' and ranges from 0k to 6k. The x-axis represents time from 00:00 to 23:00. A tooltip is visible at the bottom left, showing 'Friday, Sep 19, 00:00' and 'Generator Power: 0'.

4.3 สามารถดาวน์โหลดข้อมูลในรูปแบบไฟล์ผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ได้ทันทีหรือกรณีไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในเมมโมรีการ์ด ภายในตัวบอร์ดราสเบอร์รี่พาย ซึ่งไม่มีการทำให้ข้อมูลสูญหาย และเลือกความถี่ในการบันทึกข้อมูลที่สามารถเลือกผ่านหน้าหน้าเว็บเบราว์เซอร์ตั้งแต่ 10 วินาทีถึง 1 ชั่วโมงต่อการบันทึกดภาพประกอบที่ 7



DB record every :

Duration 20 Min. ▾

Battery Threshold

Choose a Duration

Battery Threshold

Duration 10 Sec.

Battery Threshold

Duration 20 Sec.

Battery Threshold

Duration 30 Sec.

Battery Threshold

Duration 1 Min.

Battery Threshold

Duration 2 Min.

Battery Threshold

Duration 5 Min.

Battery Threshold

Duration 10 Min.

Battery Threshold

Duration 20 Min.

Battery Threshold

Duration 30 Min.

Battery Threshold

Duration 1 Hour

Change

Password

Password

New

New Password

Confirm

Confirm Password

Change

817



ภาพประกอบที่ 8 แสดงการควบคุมผ่านเว็บเบราว์เซอร์

5. สรุปและอภิปรายผล

ผลจากการพัฒนาระบบเก็บข้อมูลและควบคุมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานด้วยบอร์ดราสเบอรี่ทำให้เห็นว่ามีความสามารถทดแทนอุปกรณ์เก็บข้อมูลแบบเดิมได้ คือแสดงผลแบบ Real Time ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สามารถเก็บข้อมูลของระบบและสามารถดาวน์โหลดข้อมูลในรูปแบบไฟล์ Excel และทำการควบคุมผ่านบอร์ดราสเบอรี่พาย ซึ่งอุปกรณ์เก็บข้อมูลเดิมนั้นไม่สามารถทำได้คือระบบเดิมจะทำการควบคุมผ่านรีโมทคอนโทรลที่เชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางในการควบคุม และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างบอร์ดราสเบอรี่พายกับระบบอุปกรณ์เก็บข้อมูลเดิมนั้น จะเห็นถึงความแตกต่างได้ชัดเจน คือบอร์ดราสเบอรี่พายมีการประมวลผลได้รวดเร็ว แม่นยำ และสามารถปรับเปลี่ยนโปรแกรมแสดงผลได้ตามต้องการซึ่งอุปกรณ์เก็บข้อมูลเดิมไม่สามารถทำได้ นอกจากนั้นตัวบอร์ดยังมีราคาถูกกว่าประมาณ 10 เท่า

6. ข้อเสนอแนะ

การโหลดข้อมูลจากเมมโมรี่การ์ดจะโหลดผ่านระบบปฏิบัติการลินุกซ์เท่านั้น อนาคตจะต้องมีการปรับปรุงโปรแกรมเพื่อให้โหลดข้อมูลได้ในระบบปฏิบัติการอื่น เช่น วินโดวส์ เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิจัยบูรณาการระบบพลังงานสะอาดที่คอยช่วยเหลือและแก้ปัญหาในทุกๆด้านจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

8. เอกสารอ้างอิง

ห้องปฏิบัติการบูรณาการระบบพลังงานสะอาด, 2557. คู่มือระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานชนิดเคลื่อนที่ได้ รุ่น PHPS

39-25. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

S. Rosiek, F.J. Batlles. 2008. A microcontroller-based data-acquisition system for meteorological station monitoring. *Energy Conversion and Management*. Vol. 49, pp 3746–3754.

การผลิตมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็งเพื่อใช้ในธุรกิจบริการอาหาร
PRODUCTION OF FROZEN PRE-MATURE COCONUT STRIPS
FOR THE USE IN FOOD SERVICE BUSINESS

จุฑามาศ มุลวงศ์

นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและบริการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : Jutamas_mw@hotmail.com

ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม

รองศาสตราจารย์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : kpprapha@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็ง โดยศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยสด ระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งก่อนการแช่แข็งและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็งที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะการบรรจุแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า มะพร้าวทึนทึกชุดฝอยสดมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 85.48, 3.71 และ -3.33 ตามลำดับ โดยมีปริมาณความชื้น 82.47% ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.67 ปริมาณกรดทั้งหมด 0.14% และปริมาณไขมัน 13.22% การนึ่งมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยก่อนการแช่แข็ง 5 นาที เพียงพอในการลดปริมาณจุลินทรีย์ลงจากเริ่มต้น 5.05×10^2 CFU/กรัม เป็น < 10 CFU/กรัม และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็งบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และปิดผนึกภายใต้ความดันบรรยากาศเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่า ตัวอย่างมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็งที่บรรจุและปิดผนึกแบบสุญญากาศมีคุณภาพทางเคมีกายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสในระหว่างการเก็บรักษาดีกว่าการปิดผนึกแบบปกติภายใต้ความดันบรรยากาศ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็งคือ นึ่งมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยเป็นเวลา 5 นาที บรรจุถุงพลาสติกโพลีเอทิลีนขณะร้อน ปิดผนึกแบบสุญญากาศ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาตัวอย่างมะพร้าวทึนทึกชุดฝอยแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ : มะพร้าว การแช่แข็ง การผลิต การบริการอาหาร

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate suitable condition for the production of frozen pre-mature coconut strips. The physicochemical properties of the fresh pre-mature coconut strips were first investigated. The results showed that the fresh sample had color values (L^* , a^* , b^*) 85.48, 3.71, and -3.33, respectively; moisture content 82.47%, pH 6.67, total acidity 0.14% and fat content 13.22%. The blanching by steaming of the coconut strips before freezing for 5 min sufficient to reduce the total plate count from 5.05×10^2 CFU/g to < 10 CFU/g and no effect on the color values of the sample was observed. The frozen pre-mature coconut strips packed in polyethylene plastic bag sealed under atmospheric and vacuum condition were stored at -20°C for 4 months. The results showed that the sample packed under vacuum had better stability during storage in terms of physicochemical, microbiological and sensorial qualities. Therefore, the suitable condition of the frozen pre-mature coconut strips was steam for 5 min pack in polyethylene plastic bag after steaming and seal under vacuum, leave to cool at room temperature, freeze at -80°C for 24 hours and store the frozen samples at the -20°C .

KEY WORDS : Coconut, Freezing, Production, Food Service

1. บทนำ

ส่วนผสมที่ใช้ในการทำขนมไทย นอกจากแป้งและน้ำตาลแล้ว มะพร้าว ยังเป็นส่วนผสมหลักที่ขาดไม่ได้ คือการนำมะพร้าวมาใช้ในการรูปแบบต่างๆ กันไป ไม่ว่าจะเป็นมาขูดแล้วคั้นให้เป็นน้ำกะทิ หรือนำมาขูดด้วยมือแล้วใช้โรยหน้าขนม นอกจากจะช่วยให้เพิ่มความหวานมันแล้ว ยังช่วยแต่งหน้าขนมให้ดูสวยงามมากยิ่งขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้มะพร้าวขูดที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน จะใช้ระดับความอ่อนแก่ของมะพร้าวที่แตกต่างกันด้วย เช่น มะพร้าวห้าวหรือมะพร้าวแก่จัดจะนำมาขูดแล้วคั้นให้เป็นน้ำกะทิ มะพร้าวที่อ่อนหรือมะพร้าวกลางอ่อนกลางแก่ซึ่งกะลาจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน นิยมนำมาขูดด้วยมือแล้วใช้โรยหน้าขนม ขนมที่ต้องใช้มะพร้าวที่อ่อนมีหลายชนิด ได้แก่ ขนมถั่วแปบ ขนมมัน ขนมกล้วย ขนมฟักทอง ขนมคัมข้าว ขนมหยกมณี มะพร้าวแก้ว หน้ากระฉีก เป็นต้น (จริยา, 2549)

อย่างไรก็ตามการใช้มะพร้าวที่อ่อนในธุรกิจบริการอาหาร ยังคงประสบปัญหาการเสื่อมเสียคุณภาพง่าย ดังที่อาจารย์ศรีสมร (2534) กล่าวไว้ว่า มะพร้าวขูดและน้ำกะทินั้น สามารถเก็บได้นานที่สุด 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะเกิดการเสื่อมเสียหรือบูดได้ โดยเฉพาะในสภาพอากาศร้อนแบบประเทศไทย การบรรจุในภาชนะที่มีลักษณะปิดก็ทำให้บูดได้ง่ายกว่าการวางฝิ่ง การเก็บในตู้เย็นหรือที่อุณหภูมิต่ำสามารถยืดระยะเวลาเก็บรักษาไว้ได้นานขึ้น อีกวิธีคือการคลุกเคล้ากับเกลือแล้วนำไปนึ่งจะสามารถเก็บรักษาไว้ค้างคืนได้ ดังนั้นในอุตสาหกรรมบริการอาหารที่ต้องใช้มะพร้าวที่อ่อนขูดฝอยปริมาณมาก นอกจากจะต้องใช้แรงงานและเวลาในการเตรียมมาก ยังมีปัญหาในการควบคุมคุณภาพในเรื่องระดับความอ่อนแก่ของมะพร้าวที่อ่อน และการเสื่อมเสียคุณภาพเนื่องจากจุลินทรีย์อีกด้วย ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการดำเนินการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะยืดอายุการเก็บรักษามะพร้าวที่อ่อนขูดฝอย โดยการแช่แข็ง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของมะพร้าวที่อ่อนขูดฝอยแช่

แข็ง ได้แก่ ระยะเวลาในการนึ่งก่อนการแช่แข็งและวิธีการบรรจุตัวอย่างในการแช่แข็ง ผลการวิจัยที่ได้นอกจากสามารถนำไปใช้ในการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ประกอบการธุรกิจบริการอาหารได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหาความสม่ำเสมอของคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ ของมะพร้าวที่แช่แข็ง
- 2.2 เพื่อศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งมะพร้าวที่แช่แข็งก่อนการแช่แข็ง
- 2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะพร้าวที่แช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

3. วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างมะพร้าวที่แช่แข็ง

มะพร้าวที่อายุ 8 เดือน (นับจากวันหลังจันทัน) โดยซื้อจากชาวสวนจังหวัดเพชรบุรี ที่นำมาจำหน่ายที่ตลาดบางกะปิ กรุงเทพมหานคร โดยใช้มะพร้าวที่เก็บเกี่ยวจากต้นแล้วไม่เกิน 3 วัน นำผลมะพร้าวที่ตากมาปอกเปลือก นำมาผ่าครึ่งแล้วแช่แข็งด้วยมือแมวโดยจะแช่เฉพาะส่วนที่เป็นเนื้อสีขาวเท่านั้น

3.2 การศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของมะพร้าวที่แช่แข็ง

นำตัวอย่างมะพร้าวที่แช่แข็งมาวัดค่าสี (L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta CR 400 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000) ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000) ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องวัด pH รุ่น Suntext, SP-7 ผลผลิตในประเทศเยอรมัน และปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไตเตรท (AOAC, 2000)

3.3 การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งมะพร้าวที่แช่แข็งก่อนการแช่แข็ง

นำมะพร้าวที่แช่แข็งมาต้มนึ่งด้วยลังถึงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 30 เซนติเมตร ใส่ น้ำสะอาดลงในหม้อปริมาณ 6 ลิตร หลังจากนั้นนำผ้าขาวบางวางลงบนลังถึงแล้วใส่มะพร้าวที่แช่แข็งลงไป 500 กรัม เกลี่ยให้มีความหนาเท่ากันประมาณ 2 เซนติเมตร นำไปนึ่งด้วยไอน้ำเดือดเป็นเวลาต่างกันคือ 0, 5, 10 และ 15 นาที จากนั้นนำตัวอย่างมะพร้าวที่แช่แข็งที่ผ่านการนึ่ง บรรจุถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) หนา 0.05 มม. ปิดปากถุง ตัดทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที นำไปวิเคราะห์ค่าสี (L^* , a^* , b^*) และวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count ; TPC) โดยวิธี Pour plate (AOAC, 2000)

3.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะพร้าวที่แช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

บรรจุมะพร้าวที่แช่แข็งที่ผ่านการนึ่งโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมตามข้อ 3.3 หนา 0.05 มม. ในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน (PE) ขนาด 6×9 นิ้ว ถุงละ 200 กรัม โดยปิดผนึกด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 2 วิธี คือ ปิดผนึกแบบปกติภายใต้ความดันบรรยากาศ และปิดผนึกแบบสุญญากาศ นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาตัวอย่างมะพร้าวที่แช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 เดือน โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 1 เดือน มาวิเคราะห์คุณภาพดังนี้

3.4.1 วัดค่าสี (L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta CR 400

3.4.2 ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

3.4.3 ค่าความเป็นกรด – ค่าง (pH) โดยใช้ เครื่องวัดค่า pH

3.4.4 ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไทเทรต (titratable acidity ; %TA) คำนวณเทียบกับกรดแลคติก (AOAC, 2000)

3.4.5 ค่า thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) (Min และคณะ, 2009)

3.4.6 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count ; TPC) โดยวิธี Pour plate (AOAC, 2000)

3.4.7 ทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างมะพร้าวที่กึ่งสุกและแห้งโดยนำมะพร้าวที่กึ่งสุกและแห้งและตัวอย่างควบคุมที่ไม่ผ่านการแช่แข็งมาใช้กลุ่มคนผู้ทดลอง นำขนมที่ได้มาทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนน ทดสอบปัจจัยทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมให้ผู้ทดสอบชิม 30 คน นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้วยวิธี Duncan's new multiple range test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป

4. ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพบางประการของมะพร้าวที่กึ่งสุก

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างมะพร้าวที่กึ่งสุกมีค่า L^* สูงมาก โดยมีค่า a^* เป็นบวก และมีค่า b^* เป็นลบ โดยสีของมะพร้าวที่กึ่งสุกจะมีสีขาวตามธรรมชาติซึ่งสอดคล้องกับค่า L^* ที่มีค่าสูงมาก เมื่อพิจารณาปริมาณความชื้นพบว่ามีความใกล้เคียงกับที่รายงานโดยกลุ่มงานวิเคราะห์อาหารและโภชนาการ กองโภชนาการ กรมอนามัย (2530) ซึ่งระบุว่าความชื้นของเนื้อมะพร้าวที่กึ่งสุกเท่ากับ 80.6% ในขณะที่ปริมาณไขมันที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างมะพร้าวที่กึ่งสุกมีค่าสูงกว่าที่รายงานโดยกลุ่มงานวิเคราะห์อาหารและโภชนาการ กองโภชนาการ กรมอนามัยประมาณ 2.4 เท่า ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของตัวอย่างมะพร้าวและระดับความแก่ก่อนที่ไม่เท่ากัน สำหรับตัวอย่างมะพร้าวที่กึ่งสุกที่ใช้ในการทดลองมีความเป็นกรดต่างค่อนข้างเป็นกลางคือ 6.67 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่มีค่าต่ำคือ 0.14%

ตารางที่ 1 สมบัติทางเคมีกายภาพของมะพร้าวที่กึ่งสุก

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ค่าที่ได้
L^*	85.48 ± 0.71
a^*	3.71 ± 0.10
b^*	-3.33 ± 0.32
ปริมาณความชื้น(%โดยน้ำหนัก)	82.47 ± 1.05
ความเป็นกรด-ค่าง	6.67 ± 0.07
ปริมาณกรดทั้งหมด (%โดยน้ำหนัก)	0.14 ± 0.01
ปริมาณไขมัน (%โดยน้ำหนัก)	13.22 ± 0.76

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

4.2 ผลการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการนึ่งมะพร้าวที่กักขุดฝอยก่อนการแช่แข็ง

จากผลการทดลองในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่า L^* , a^* และ b^* ของตัวอย่างมะพร้าวที่กักขุดฝอยที่ผ่านการนึ่งที่ระยะเวลาต่างๆ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการนึ่งตัวอย่างในช่วงเวลาไม่เกิน 15 นาทีจะไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของมะพร้าวที่กักขุดฝอย เมื่อนำมะพร้าวที่กักขุดฝอยที่นึ่งเป็นเวลาแตกต่างกัน ไปวิเคราะห์หาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดทั้งหมด (ตารางที่ 3) พบว่ามะพร้าวที่กักขุดฝอยที่ยังไม่ผ่านการนึ่ง (ตัวอย่างควบคุม) มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเท่ากับ 5.05×10^2 CFU/กรัม ส่วนตัวอย่างที่ผ่านการนึ่งที่ทุกระยะเวลาที่ศึกษา มีปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลือรอดทั้งหมดที่ตรวจพบ < 10 CFU/กรัม เนื่องจากการนึ่งเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวของอาหาร หรือเป็นการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์แรกเริ่มของอาหาร (นิธิยา, 2544) ทั้งนี้จากการทดสอบพบว่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหลือรอดทั้งหมดหลังการนึ่งนั้นน้อยกว่าเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารพร้อมบริโภค กำหนดให้มีจำนวนโคโลนีน้อยกว่า 1×10^6 CFU/กรัม (ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2553) แสดงว่าการนึ่งมะพร้าวที่กักขุดฝอยที่เวลาอย่างน้อย 5 นาที ก็เพียงพอต่อการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ได้

ตารางที่ 2 ค่าสี L^* , a^* , b^* ของตัวอย่างมะพร้าวที่กักขุดฝอยที่ผ่านการนึ่งที่ระยะเวลาแตกต่างกัน

ระยะเวลา (นาที)	ค่าสีของมะพร้าวที่กักขุดฝอย		
	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
0 (ควบคุม)	85.48±0.71	3.71±0.10	-3.33±0.32
5	85.85±0.60	3.76±0.01	-3.39±0.46
10	85.45±0.24	3.73±0.03	-3.39±0.27
15	86.01±0.19	3.74±0.11	-3.46±0.29

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางที่ 3 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เหลือรอดทั้งหมดของตัวอย่างมะพร้าวที่กักขุดฝอยเมื่อใช้ระยะเวลาในการนึ่งที่แตกต่างกัน

ระยะเวลาในการนึ่ง (นาที)	Total Plate Count (CFU/กรัม)
0 (ควบคุม)	5.05×10^2
5	< 10
10	< 10
15	< 10

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า การนึ่งในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา (5-15 นาที) ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของมะพร้าวที่ทึบชุดฝอย และสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ลงได้จนมีค่าต่ำกว่า 10 CFU/กรัม ตั้งแต่ระยะเวลาในการนึ่ง 5 นาที ดังนั้นจึงเลือกใช้ระยะเวลาในการนึ่ง 5 นาที สำหรับการเตรียมตัวอย่างมะพร้าวที่ทึบชุดฝอยก่อนการแช่แข็งในการเก็บรักษาด้วยวิธีการบรรจุที่แตกต่างกันระหว่างสภาวะบรรยากาศและสุญญากาศต่อไป

4.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะพร้าวที่ทึบชุดฝอยแช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษา ด้วยวิธีการบรรจุที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า ตัวอย่างมะพร้าวที่ทึบชุดฝอยแช่แข็งที่เก็บรักษาในถุงพลาสติกที่ปิดผนึกแบบปกติภายใต้ความดันบรรยากาศ และแบบสุญญากาศ จะมีปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา 4 เดือนสอดคล้องกับซุทวิป (2545) เก็บรักษามะพร้าวแก้วโดยบรรจุในถุงพลาสติกปิดผนึกแบบปกติและแบบสุญญากาศทั้งสองวิธีมีค่าความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ปิดผนึกภายใต้ความดันบรรยากาศ มีแนวโน้มของปริมาณความชื้นลดลงเล็กน้อยเมื่อเก็บนานขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าตัวอย่างมะพร้าวที่ทึบชุดฝอยแช่แข็งในถุงที่ปิดผนึกแบบสุญญากาศมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงระยะเวลา 4 เดือน ในขณะที่ตัวอย่างในถุงที่ปิดผนึกแบบปกติภายใต้ความดันบรรยากาศมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดทั้งหมดที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับค่า TBARS ซึ่งเป็นค่าที่สัมพันธ์กับการเกิดออกซิเดชันของไขมัน พบว่า ตัวอย่างมะพร้าวที่ทึบชุดฝอยแช่แข็งที่เก็บในถุงที่ปิดผนึกภายใต้ความดันบรรยากาศจะมีค่า TBARS สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บในถุงที่ปิดผนึกแบบสุญญากาศ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kerry และคณะ (1998) ที่รายงานว่า การเก็บรักษาเนื้อหมูอบในบรรจุภัณฑ์ภายใต้บรรยากาศที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของค่า TBARS สูงกว่าตัวอย่างที่เก็บในสภาวะสุญญากาศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่ว่า การเก็บรักษาในถุงปิดผนึกแบบปกติภายใต้ความดันบรรยากาศจะมีออกซิเจนมากกว่าถุงปิดผนึกแบบสุญญากาศทำให้เกิดการออกซิเดชันของไขมันในตัวอย่างได้มากกว่านั่นเอง อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของค่า TBARS ในตัวอย่างทั้งสองเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ถึงแม้ว่าจะมีแนวโน้มของค่า TBARS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้นก็ตาม

ตารางที่ 4 ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด และค่า TBARS ของตัวอย่างมะพร้าว
ที่นึ่งที่อุณหภูมิแช่แข็ง ที่ระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาต่างกัน

สมบัติทางเคมี	สภาวะ	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
กายภาพ					
ความชื้น	บรรยากาศ	75.46±0.36 ^{aA}	74.37±0.21 ^{abA}	73.79±0.50 ^{bA}	72.57±1.51 ^{cA}
(%โดยน้ำหนัก)	สุญญากาศ	75.30±0.16 ^{aA}	75.51±0.43 ^{aA}	75.29±0.16 ^{aA}	75.27±0.43 ^{aA}
pH	บรรยากาศ	7.12±0.03 ^{aA}	6.92±0.01 ^{bB}	6.83±0.03 ^{cA}	6.61±0.10 ^{dB}
	สุญญากาศ	7.13±0.01 ^{aA}	7.11±0.14 ^{aA}	6.99±0.09 ^{bA}	6.88±0.04 ^{cA}
ปริมาณกรด	บรรยากาศ	0.04±0.00 ^{dA}	0.06±0.00 ^{cA}	0.08±0.00 ^{bA}	0.09±0.00 ^{aA}
(%โดยน้ำหนัก)	สุญญากาศ	0.04±0.00 ^{bA}	0.06±0.00 ^{aA}	0.06±0.00 ^{aA}	0.06±0.00 ^{aA}
TBARS	บรรยากาศ	0.24±0.02 ^{aA}	0.26±0.01 ^{aA}	0.26±0.02 ^{aA}	0.27±0.02 ^{aA}
(มิลลิกรัม MDA/ กิโลกรัม)	สุญญากาศ	0.11±0.00 ^{ab}	0.16±0.08 ^{ab}	0.17±0.08 ^{aA}	0.19±0.01 ^{aA}

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

^{a-d} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งของแต่ละปัจจัย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ผลการวัดค่าสี L^* , a^* , b^* ในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าตัวอย่างมะพร้าวที่นึ่งที่อุณหภูมิแช่แข็งทั้งที่ปิดผนึกแบบปกติภายใต้ความดันบรรยากาศ และแบบสุญญากาศ มีการเปลี่ยนแปลงของค่า a^* และ b^* โดยค่า a^* มีแนวโน้มลดลงในขณะที่ค่า b^* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตลอดช่วงระยะเวลาในการเก็บรักษา 4 เดือน ($p \leq 0.05$) โดยค่า a^* มีค่าอยู่ระหว่าง 3.78±0.07 ถึง 3.90±0.26 ในสภาวะบรรยากาศ และ 3.84±0.09 ถึง 4.18±0.16 ในสภาวะสุญญากาศ ค่า b^* มีค่าอยู่ระหว่าง -2.86±0.18 ถึง -3.60±0.29 ในสภาวะบรรยากาศ และ -3.15±0.28 ถึง -3.68±0.28 ในสภาวะสุญญากาศ อย่างไรก็ตามการเก็บรักษาโดยวิธีการแช่แข็งทั้งสองสภาวะไม่ส่งผลต่อค่า L^* สอดคล้องกับภัทรามาต (2547) พบว่าการเก็บรักษาเนื้อมะม่วงสุกแบบแช่เยือกแข็งนาน 6 เดือนนั้นไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่า L^* ในขณะที่ค่า a^* และ b^* มีแนวโน้มลดลง Liang และคณะ (2014) พบว่า การแช่เยือกแข็งลิ้นจี่แบบจุ่มโดยเก็บรักษาในถุงพลาสติก (PE) เป็นเวลา 1 ปี ค่าสี L^* ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพร้อมกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกล่าวคือ ผลทดสอบไม่มีความแตกต่างของสีของมะพร้าวที่นึ่งที่อุณหภูมิแช่แข็งที่ผ่านการเก็บรักษาในระยะเวลาที่แตกต่างกัน

ค่าสี	สถานะ	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
L^*	บรรยากาศ	87.44±0.79 ^{aA}	87.59±0.77 ^{aA}	87.94±0.76 ^{aA}	87.34±1.29 ^{aA}
	สัญญาณ	87.90±0.82 ^{aA}	87.26±1.31 ^{aA}	87.64±0.89 ^{aA}	87.20±0.76 ^{aA}
a^*	บรรยากาศ	3.90±0.26 ^{aA}	3.71±0.07 ^{bA}	3.82±0.03 ^{abB}	3.78±0.07 ^{abA}
	สัญญาณ	4.18±0.16 ^{aA}	3.68±0.08 ^{cA}	3.90±0.10 ^{bA}	3.84±0.09 ^{bA}
b^*	บรรยากาศ	-3.60±0.29 ^{cA}	-3.54±0.30 ^{bcA}	-3.36±0.13 ^{bA}	-2.86±0.18 ^{aA}
	สัญญาณ	-3.68±0.28 ^{bA}	-3.63±0.28 ^{bA}	-3.00±0.39 ^{aA}	-3.15±0.28 ^{aA}

a-c หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{A-B} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกัน ในแนวตั้งของแต่ละปัจจัย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 6) จะเห็นได้ว่าผู้ทดสอบชิมขนมฟักทองคลุกมะพร้าวหั่นทึกขูดฝอย ให้คะแนนความชอบในทุกตัวอย่างในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น และรสชาติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างมะพร้าวหั่นทึกขูดฝอยเป็นเวลา 4 เดือน ในขณะที่คะแนนความชอบทางด้านเนื้อสัมผัส ของตัวอย่างขนมฟักทองที่คลุกมะพร้าวหั่นทึกขูดฝอยที่เก็บในถุงปิดผนึกแบบปกปิดภายในความดันบรรยากาศ และถุงปิดผนึกแบบสุญญากาศสูงกว่าตัวอย่างที่คลุกมะพร้าวหั่นทึกขูดฝอยสด (ตัวอย่างควบคุม) ($p\leq 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาตัวอย่างทั้ง 4 เดือน จึงส่งผลให้คะแนนความชอบโดยรวมของตัวอย่างทั้งสองดังกล่าวมีแนวโน้มสูงกว่าตัวอย่างควบคุมด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากตัวอย่างมะพร้าวหั่นทึกขูดฝอยสดไม่ได้ผ่านการนึ่ง แต่ตัวอย่างมะพร้าวหั่นทึกแช่แข็งมีขั้นตอนการนึ่งซึ่งมีผลทำให้เนื้อเยื่อมะพร้าวอ่อนนุ่มขึ้น (นิธิยา, 2544) เนื้อสัมผัสของมะพร้าวมีความอ่อนนุ่มกว่าจึงทำให้คะแนนความชอบสูงกว่า

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธี Hedonic scale 7 ระดับคะแนน ของตัวอย่างมะพร้าวที่กิน
ชุดฝอยแช่แข็ง ที่ระยะเวลาและสภาวะในการเก็บรักษาต่างกัน

คุณลักษณะ	สภาวะ	ระยะเวลาเก็บรักษา (เดือน)			
		1	2	3	4
ลักษณะปรากฏ	สด	6.07±0.74	6.13±0.57	6.17±0.70	6.07±0.64
	บรรจุอากาศ	6.03±0.81	6.10±0.66	6.00±0.64	5.97±0.72
	สุญญากาศ	6.07±0.64	6.03±0.81	5.97±0.89	6.03±0.67
สี	สด	5.50±0.63	5.77±0.77	5.73±0.91	5.63±0.89
	บรรจุอากาศ	5.63±0.85	5.53±0.57	5.50±0.51	5.67±0.92
	สุญญากาศ	5.47±0.82	5.60±0.77	5.70±0.79	5.83±0.95
กลิ่น	สด	5.10±1.27	5.43±1.14	5.37±0.96	5.27±1.23
	บรรจุอากาศ	5.47±1.22	5.13±1.04	5.40±0.81	5.50±1.14
	สุญญากาศ	5.43±1.07	5.57±1.07	5.67±1.18	5.70±0.99
รสชาติ	สด	5.23±1.19	5.37±0.81	5.53±0.73	5.27±1.11
	บรรจุอากาศ	5.43±0.97	5.30±0.92	5.70±0.75	5.60±0.77
	สุญญากาศ	5.50±0.94	5.37±0.89	5.47±0.86	5.63±0.89
เนื้อสัมผัส	สด	5.03±1.03 ^b	5.17±0.70 ^b	5.10±0.61 ^b	5.13±1.20 ^b
	บรรจุอากาศ	5.93±0.69 ^a	5.97±0.61 ^a	5.87±0.73 ^a	5.83±0.59 ^a
	สุญญากาศ	6.03±0.61 ^a	6.13±0.78 ^a	6.17±0.87 ^a	6.07±0.94 ^a
ความชอบโดยรวม	สด	5.83±0.79	5.87±0.68 ^b	5.90±0.71 ^b	5.97±0.72
	บรรจุอากาศ	5.87±0.68	6.13±0.63 ^{ab}	6.10±0.66 ^{ab}	6.10±0.88
	สุญญากาศ	6.13±0.78	6.37±0.56 ^a	6.33±0.48 ^a	6.17±0.79

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส

โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

^{a,b} หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันในแนวดิ่ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่าเฉลี่ยที่ไม่มีอักษรกำกับตามแนวดิ่งของแต่ละปัจจัย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

5. สรุปผลการวิจัย

ตัวอย่างมะพร้าวที่กินชุดฝอยสดที่ใช้ในการทดลองนี้มีความชื้นเท่ากับ 82.47% ค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.67 ปริมาณกรดทั้งหมด 0.14% และปริมาณไขมัน 13.22 % โดยมีค่า L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 85.48, 3.71 และ -3.33 ตามลำดับ การนึ่งมะพร้าวที่กินชุดฝอยตามสภาวะในการทดลองนี้เป็นระยะเวลา 5 นาที เพียงพอต่อการทำลายจุลินทรีย์เริ่มต้นได้ และไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของตัวอย่างมะพร้าว การเก็บรักษามะพร้าวที่กินชุดฝอยแช่แข็งโดยบรรจุในถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน (PE) ปิดผนึกแบบสุญญากาศในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษานาน 4 เดือน มีคุณภาพทางเคมีกายภาพ จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสโดยรวมดีกว่าการเก็บรักษาโดยปิดผนึกแบบ

ปกติภายใต้ความดันบรรยากาศ ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตมะพร้าวที่กึ่งสุกแช่แข็งคือ นึ่งมะพร้าวที่กึ่งสุกแช่แข็งเป็นเวลา 5 นาที บรรจุถุงพลาสติกพอลิเอทิลีน (PE) ขนาดร้อน ปิดผนึกแบบสุญญากาศ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และเก็บรักษาตัวอย่างมะพร้าวที่กึ่งสุกแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

6. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะพร้าวที่กึ่งสุกแช่แข็งในระหว่างการเก็บรักษาด้วยวิธีการบรรจุที่แตกต่างกันนั้น ควรมีการศึกษาระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลของอายุการเก็บรักษาต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- กลุ่มงานวิเคราะห์อาหารและโภชนาการ กองโภชนาการ กรมอนามัย. 2530. **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- จิรา เดชบุญชร. 2549. **ขนมไทยเล่ม 1**. (พิมพ์ครั้งที่1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เพชรการเรือน.
- สุทธิวิ ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา. 2545. “การยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มะพร้าวแก้วที่ผลิตในอำเภอเชียงคานโดยวิธีการบรรจุแบบสุญญากาศ”. สถาบันราชภัฏเลย
- นิธิยา รัตนปณนั. 2544. **หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2553. **เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหารฉบับที่2**. ลงวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2553
- ภัทรามาศ กาญจนบุตร. 2547. “กิจกรรมเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสโพลิฟิโนลออกซิเดสและปริมาณแคโรทีนอยด์ระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งของเนื้อมะม่วงพันธุ์มหาชนก”. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ศรีสมร คงพันธ์. 2534. **ขนมไทย1**. (พิมพ์ครั้งที่2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2535. “วัตถุดิบอาหารที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภทผักและผลไม้ในวัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร”. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- สมณฑา วัฒนสินธุ์. 2545. **จุลชีววิทยาทางอาหาร**. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- A.O.A.C. 2000. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland.
- Liang, D., Lin, F., Yang, G., Yue, x., Zhang, Q., Zhang, Z., and Chen, H. 2014. **Advantages of immersion freezing for quality preservation of litchi fruit during frozen storage**. LWT - Food Science and Technology. 34 (10) : 1-9.
- Kerry, J.P., Buckle, D.J., Morrissey, P.A., O'Sullivan, K. and Lynch, P.B. 1998. **Endogenous and exogenous α -tocopherol supplementation: effects on lipid stability (TBARS) and warmed-over flavour (WOF) in porcine M. longissimus dorsi roasts held in aerobic and vacuum packs**. Journal of Food Science and Technology. 31(3) : 211-216.

Min, D.B., Chen, M. H., and Green, B.W. 2009. **Antioxidant activities of purple rice bran extract and its effect on the quality of low - NaCl, Phosphate - free patties made from channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) Belly Flap Meat.** Journal of Food Science. 74(3) : 268 - 277.

กรอบการพัฒนามาตรฐานโลจิสติกส์ของประเทศไทย
DEVELOPMENT FRAMEWORK FOR THAILAND LOGISTICS
STANDARDIZATION ROADMAP

ชรินี มณีศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : tharinee.ma@spu.ac.th

ศิริศกย เทพจิต

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

E-mail : sirasakt@kmutnb.ac.th

ธนภณ เจียรณัย

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

E-mail : unsleep.pop@gmail.com

บทคัดย่อ

กระบวนการโลจิสติกส์ประกอบด้วยกิจกรรมที่มีขอบเขตกว้างขวางเชื่อมโยงโซ่อุปทานผ่านเครือข่ายโซ่คุณค่าในระดับโลก การพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของประเทศจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้โซ่อุปทานสามารถปรับปรุงการดำเนินงานระหว่างกันทั้งภายในและระหว่างประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากรอบการพัฒนาด้านการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของประเทศไทย เพื่อรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ขั้นตอนวิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลมาตรฐานสากล เทคนิคการจัดกลุ่มตามกิจกรรมโลจิสติกส์ การคัดกรองความเร่งด่วนตามกรอบแนวคิด 3Cs ซึ่งประกอบด้วย การเชื่อมโยง การสื่อสาร และความร่วมมือ การสัมภาษณ์เชิงลึก และการจัดประชุมกลุ่มย่อยเพื่อรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง ซึ่งผลการวิจัยสามารถจัดทำมาตรฐานโลจิสติกส์ระดับสากลได้ 12 กลุ่ม รวมจำนวนทั้งสิ้น 3,724 รายการ และได้นำเสนอมาตรฐานเร่งด่วนจำนวน 21 รายการไว้ในแผนพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของไทยในระยะ 5 ปี (2556-2560) และจัดลำดับความสำคัญของการจัดทำตามโครงสร้างของแบบจำลองโซ่อุปทานอ้างอิงมาตรฐาน ISO/TR 13730

คำสำคัญ : การมาตรฐานด้านโลจิสติกส์, มาตรฐาน ISO, 3Cs

ABSTRACT

Logistics processes involve a wide range of activities which can connect with supply chains through global value chain. Thus, the development of national logistics standards is necessary for all supply chains improve their operation both domestic and across countries effectively. This research aims to study the development of logistics standardization roadmap in Thailand under the ASEAN Economic Community. The methods include the study of international standards, clustering techniques, screening factors by using the 3Cs framework; Connection, Communication, and Collaboration, in-depth interviews and stakeholder's focus groups. The results show 12 groups of logistics standards and totally 3,724 items of them. The urgent 21 items of standards are selected to fill in the logistics standardization roadmap for 5 years (2013-2017), and the priority of making the structure of the supply chain model based on ISO / TR 13730.

KEYWORDS: Logistics Standard, ISO, 3Cs

บทนำ

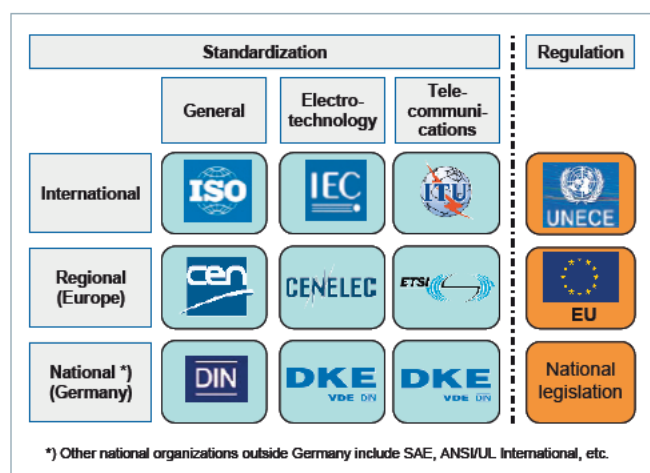
ภายใต้การดำเนินงานจัดทำแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของไทย ฉบับที่ 2 (2556-2560) สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2556) ระบุว่า การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์ภาคอุตสาหกรรมภายในองค์กรมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่การสร้างความร่วมมือในโซ่อุปทานยังเกิดขึ้นน้อย ซึ่งการสร้างมาตรฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในกิจกรรมโลจิสติกส์จะเป็นมาตรการที่สร้างโอกาสให้ผู้ประกอบการสร้างความสัมพันธ์เชิงธุรกิจเข้าด้วยกัน อย่างไรก็ตาม การขยายการผลิตของผู้ประกอบการไม่เพียงจำกัดอยู่ภายในประเทศเท่านั้น หากแต่เชื่อมโยงไปทั่วโลกด้วยโซ่อุปทานในระดับโลก (Rodrigue et al., 2006) ผ่านการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศซึ่งได้วางมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโลจิสติกส์ไว้อยู่แล้ว เช่น การขนส่งด้วยตู้คอนเทนเนอร์ (Containerization) (Notteboom and Rodrigue, 2008) และข้อตกลงเงื่อนไขการขนส่ง (INCOTERM) (Ramberg, 2011) เป็นต้น

ในขณะเดียวกันการรวมตัวเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน และแนวโน้มทางการค้าระหว่างประเทศจากที่เคยกระจุกตัวอยู่ในกลุ่มประเทศสหภาพยุโรปและสหรัฐอเมริกาได้กระจายตัวมาอยู่ประเทศในภูมิภาคอาเซียน และเอเชีย (METI, 2007) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มประเทศอาเซียน+3 และอาเซียน+6 ปรากฏการณ์ดังกล่าวย่อมแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างประเทศที่มีแนวโน้มหมุนเวียนระหว่างประเทศสมาชิกมากขึ้น ส่งผลให้กระบวนการธุรกิจระหว่างประเทศต้องมีความเป็นสากลมากขึ้นเพื่อให้กระบวนการโลจิสติกส์การค้าระหว่างประเทศมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารฉบับนี้นำเสนอกรอบแนวทางในการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของไทยเพื่อเสนอแนะการมาตรฐานโลจิสติกส์ที่ประเทศไทยควรจัดทำ หรือปรับปรุงเพื่อยกระดับให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล โดยคาดหวังว่ามาตรฐานที่นำเสนอจะเป็นเสมือนข้อกำหนดเบื้องต้นในการทำธุรกิจร่วมกัน และเป็นเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินการของผู้ประกอบการผลิตและผู้ให้บริการโลจิสติกส์ของไทย

บททวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการมาตรฐาน มาตรฐานและข้อกำหนดเฉพาะทางได้ถูกพัฒนาขึ้นในหลายระดับ ตั้งแต่มาตรฐานที่ใช้ภายในประเทศ มาตรฐานที่ได้รับการยอมรับในระดับภูมิภาค และมาตรฐานสากล ภายใต้การดำเนินการขององค์กรด้านมาตรฐานจำนวนมาก เช่น ISO (International Organization for Standardization) เป็นมาตรฐานสากลและนำมาใช้ในการกำหนดเป็นมาตรฐานทั่วไป หรือ IEC (The International Electrotechnical Commission) เป็นมาตรฐานสากลแต่ใช้มาตรฐานเฉพาะในด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนมาตรฐานในระดับภูมิภาค เช่น CEN (Comité Européen de Normalisation) เป็นมาตรฐานที่กำหนดใช้ทั่วไปที่เป็นที่ยอมรับในสหภาพยุโรป หรือ มาตรฐานในระดับชาติ เช่น DIN (Deutsches Institut für Normung) เป็นมาตรฐานแห่งชาติของเยอรมนีซึ่งกำหนดเป็นมาตรฐานทั่วไป (NPE, 2010) แต่ในบางกรณีเช่นในงานวิศวกรรมมาตรฐาน DIN ก็เป็นที่ยอมรับในหลายประเทศ



ภาพที่ 1 ขอบเขตของมาตรฐานในระดับต่างๆ

ที่มา: NPE (2010)

สำหรับมาตรฐานในระดับชาติของไทยที่สำคัญได้แก่ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. ซึ่งเป็นข้อกำหนดทางวิชาการที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ได้พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ผลิตในการผลิตสินค้าให้มีคุณภาพในระดับที่เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุดโดยจัดทำออกมาเป็นเอกสารและจัดพิมพ์เป็นเล่มเนื้อหาภายในเอกสารแต่ละเล่มประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น เช่น ขอบข่าย บทนิยาม แบบและสัญลักษณ์ ขนาดระบุและมิติ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลากการชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน เป็นต้น ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่ สมอ. กำหนดเป็นมาตรฐานปัจจุบันมีอยู่กว่า 2,000 เรื่องครอบคลุมผลิตภัณฑ์หลายประเภท ได้แก่ ประเภทอาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า ยานพาหนะ สิ่งทอ วัสดุก่อสร้าง เป็นต้น

การมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ กระบวนการโลจิสติกส์เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องการไหลทั้งทางกายภาพและการไหลของข้อมูล ตั้งแต่ต้นทางของการจัดหาวัตถุดิบสำหรับการผลิตจนกระทั่งส่งมอบสินค้าให้กับ

ผู้รับปลายทาง (Cooper, et al, 1997) ทั้งนี้หากพิจารณาในระดับเครือข่ายการผลิตระหว่างประเทศ จะรวมถึงกระบวนการโลจิสติกส์ของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ว่าเริ่มตั้งแต่ผู้ผลิตในประเทศต้นทางขนส่งสินค้าผ่านผู้ขนส่งภายในประเทศไปยังจุดเชื่อมต่อในการส่งออก ประกอบด้วย ประตูกำแพง เช่น ท่าเรือด่านชายแดนหรือท่าอากาศยาน ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการพิธีการศุลกากรสำหรับการส่งออกจากนั้นสินค้าจะส่งผ่านไปถึงประเทศปลายทางและผ่านพิธีการศุลกากรนำเข้าของประเทศนั้นๆ เมื่อผ่านกระบวนการพิธีการทางศุลกากรเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการขนส่งภายในประเทศนั้น เพื่อไปส่งให้ลูกค้าในประเทศปลายทาง (JICA, 2009)

ในภาพใหญ่ของการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ ศูนย์เศรษฐกิจระหว่างประเทศ ความร่วมมือทางเศรษฐกิจเอเชีย-แปซิฟิก (APEC) ได้กำหนดแนวทางในการพัฒนาเป็น 2 ส่วนหลัก (APEC, 2009) ได้แก่ การพัฒนาในส่วนของ Hard Infrastructure หรือ โครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพ เช่น ระบบคมนาคมขนส่ง การกำหนดพื้นที่จุดกระจายสินค้า การกำหนดพื้นที่การผลิต เป็นต้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสนับสนุนการเชื่อมโยงการค้าและบริการระหว่างประเทศ และ Soft Infrastructure หรือ โครงสร้างพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ กฎระเบียบและใบอนุญาต รวมถึงข้อตกลง กิจกรรมกำกับการดำเนินงานระหว่างภาครัฐและเอกชน และความปลอดภัย ในการเชื่อมโยงการค้าและบริการระหว่างประเทศเพื่อให้การดำเนินการด้านโลจิสติกส์ของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของไทยนั้นยังไม่ได้มีการจัดทำกรอบมาตรฐานที่มุ่งเน้นกระบวนการโลจิสติกส์อย่างเฉพาะเจาะจง แต่หากพิจารณาถึงมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. ที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการโลจิสติกส์นั้น สามารถจำแนกได้เป็น 14 รายการ แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ มาตรฐานในด้านอุปกรณ์ ขกชน บรรจุภัณฑ์ การขนส่ง 5 รายการ เช่น มอก. 286-2521 การทำภาพเครื่องหมายเพื่อการขนถ่ายพัสดุหรือสินค้า: สัญลักษณ์ทั่วไป มอก. 587-2528 ขนาดฐานขนส่งสินค้า เป็นต้น และมาตรฐานด้านการแลกเปลี่ยนข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ 9 รายการ เช่น มอก. 1915-2542 การแลกเปลี่ยนข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับการบริหาร การพาณิชย์ และการขนส่ง - กฎวากยสัมพันธ์ระดับการประยุกต์ (วากยสัมพันธ์ฉบับหมายเลข 4) เล่ม 1 กฎวากยสัมพันธ์ร่วมสำหรับทุกเล่ม รวมถึงสารบบการบริการวากยสัมพันธ์สำหรับแต่ละเล่ม (สำนักโลจิสติกส์, 2554)

การจัดทำการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ การดำเนินงานในระดับปฏิบัติการจะแบ่งกระบวนการโลจิสติกส์บนโซ่อุปทานในรูปแบบของการไหลได้ใน 3 ลักษณะ (Walker, 2004) ได้แก่ 1) การไหลทางกายภาพ 2) การไหลของสารสนเทศ และ 3) การไหลทางการเงิน ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 3 จะต้องได้รับการจัดการที่สอดคล้องกันระหว่างผู้เล่นในโซ่อุปทาน เพื่อส่งมอบสินค้าหรือบริการถึงมือลูกค้าคนสุดท้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อพิจารณาความหมายโดยนัยของการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์จะอ้างได้ถึงกระบวนการโลจิสติกส์ในระบบขนาดใหญ่ที่มีการพัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับการขนส่ง และมาตรฐานการดำเนินงานโลจิสติกส์อื่นๆที่เกี่ยวข้องเช่น มาตรฐานด้านสารสนเทศสำหรับระบบโลจิสติกส์สมัยใหม่ รวมถึงการปรับปรุง แก๊ซ หรือยกเลิกกฎระเบียบข้อบังคับที่ล้าหลังซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินกระบวนการโลจิสติกส์ของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ส่วนในระดับปฏิบัติการก็จะเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรอุปกรณ์ มาตรฐานเชิงเทคนิค การบรรจุหีบห่อ การจัดเก็บสินค้า การเคลื่อนย้ายสินค้า เป็นต้น (Ke, 2010) รวมไปถึงกระบวนการ

โลจิสติกส์ที่เกี่ยวข้องกับการค้าระหว่างประเทศ ให้ผู้เล่นในโซ่อุปทานมีความเข้าใจบนพื้นฐานเดียวกันแม้จะมีกระบวนการทำงานที่แตกต่างกัน

โดยการจัดทำมาตรฐานด้านโลจิสติกส์เป็นการสร้างความสอดคล้องที่เกี่ยวข้องกับการไหลทางกายภาพและสารสนเทศบนโซ่อุปทาน ซึ่งประกอบด้วย 3 องค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่

1) การเชื่อมต่อทางกายภาพ (Connection) เป็นความสอดคล้องกับการจัดการการเคลื่อนย้ายของสินค้าและบริการมุ่งเน้นในด้านพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ทางกายภาพ เช่น ตู้คอนเทนเนอร์ แท่นรองสินค้า ขนาดและสัดส่วนของบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

2) การเชื่อมต่อผ่านระบบข้อมูลสารสนเทศ (Communication) สร้างความสอดคล้องกับการจัดการการเคลื่อนย้ายของสินค้าและบริการด้วยการส่งถ่ายข้อมูลที่เป็นมาตรฐานระหว่างผู้ประกอบการ เช่น ตราสัญลักษณ์การกำหนดรหัสบนสินค้าและบรรจุภัณฑ์ เป็นต้น

3) ความสามารถในการทำงานร่วมกัน (Collaboration) ในระดับโซ่อุปทานที่สามารถเชื่อมโยงข้อมูลและกิจกรรมจากอุตสาหกรรมต้นน้ำ สู่กลางน้ำ และปลายน้ำ เป็นมาตรฐานของระบบการดำเนินงานที่เป็นสากลในโซ่อุปทานให้มีความสอดคล้องและมีความน่าเชื่อถือในระดับสูง เช่น การกำหนดโครงสร้างการบันทึกข้อมูลสินค้าและบรรจุภัณฑ์ กฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ เป็นต้น

วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อสร้างกรอบแนวทางในการพัฒนามาตรฐานโลจิสติกส์ของประเทศไทยให้เข้าสู่ระบบสากล

วิธีการดำเนินวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลมาตรฐานสากล การรวบรวมเอกสารทุติยภูมิ ข้อมูลเชิงสถิติ รายงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของไทย ASEAN+6 และกลุ่มประเทศสหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และญี่ปุ่น เป็นต้น

2. จัดกลุ่มมาตรฐานตามกิจกรรมโลจิสติกส์

3. คัดกรองความเร่งด่วนตามกรอบแนวคิด 3Cs ซึ่งประกอบด้วย การเชื่อมโยง การสื่อสาร และความร่วมมือ

4. การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐาน โลจิสติกส์

5. การจัดประชุมกลุ่มย่อยเพื่อรับฟังความคิดเห็นจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องจากหน่วยงานภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา เช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ สภาผู้ส่งสินค้าทางเรือแห่งประเทศไทย สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร เป็นต้น

ผลการวิจัย

การศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการมาตรฐานของประเทศในกลุ่มสมาชิก ASEAN+6 เพื่อเปรียบเทียบวิเคราะห์สถานะ และแนวทางการพัฒนาการมาตรฐานโลจิสติกส์ระหว่างประเทศสมาชิก โดยมีวิเคราะห์ผลใน 5 ด้าน โดยประเด็นที่จะนำมาใช้เป็นกรอบในการพัฒนาการมาตรฐานโลจิสติกส์ของไทย คือ องค์การมาตรฐานที่ประเทศสมาชิกใช้อ้างอิงในการจัดทำมาตรฐานภายในประเทศ โดยสรุปได้ว่าหน่วยงานหลักที่ดูแลการมาตรฐานของแต่ละประเทศจะเป็นสมาชิกขององค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ ได้แก่ ISO และ IEC ยกเว้นสหภาพเมียนมาร์ สปป.ลาว และกัมพูชา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สถานะความเป็นสมาชิกในองค์การมาตรฐาน ISO และ IEC

ประเทศ	กัมพูชา	อินโดนีเซีย	สปป.ลาว	มาเลเซีย	พม่า	ฟิลิปปินส์	สิงคโปร์	ไทย	เวียดนาม	เกาหลี	จีน	ญี่ปุ่น	นิวซีแลนด์	ออสเตรเลีย	อินเดีย
หน่วยงาน ด้านมาตรฐาน	N/A	National Standardization Agency (Badan Standardisasi Nasional: BSN)	N/A	Departme nt of Standards Malaysia : DSM	N/A	Philippines National Standards (PNS)	Standard Productiviti es & Innovation Board (SPRING Singapore)	สำนักงาน มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรม	N/A	Korea Agency for Technolog y and Standards (KATS)/	The Standardiz ation Administra tion of the people's Republic of China (SAC)	Japanese Industrial Standard Committee (JISC)	Standards New Zealand	Standards Australia	Bureau of Indian Standar ds (BIS)
สถานะ สมาชิก ISO	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
สถานะ สมาชิก IEC	X	✓	X	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

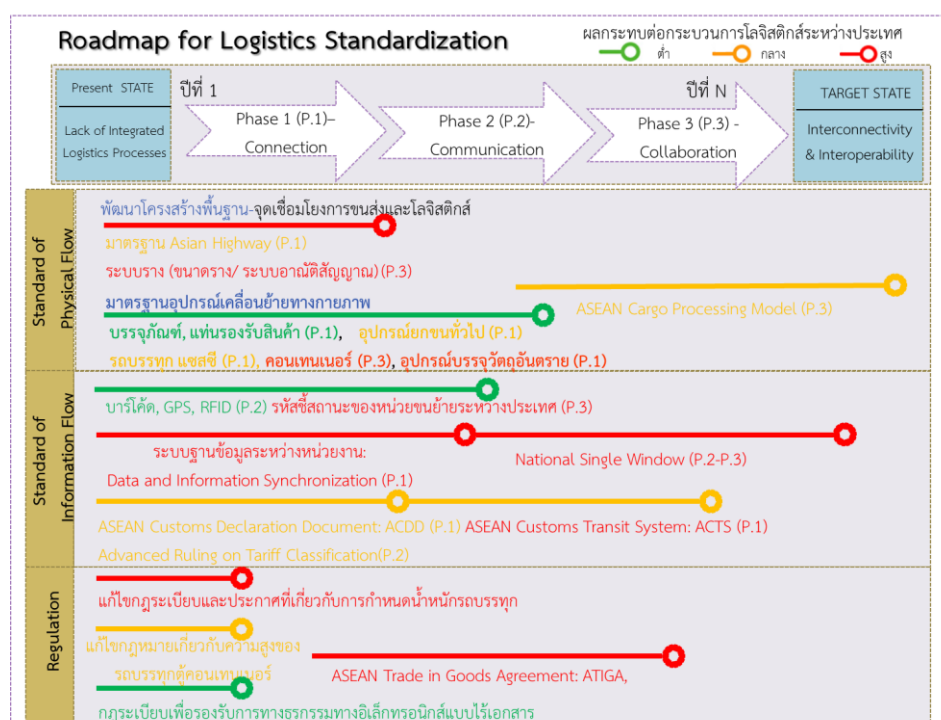
ทั้งนี้การที่ประเทศส่วนใหญ่เป็นสมาชิก ISO และ IEC ส่งผลให้การบังคับใช้มาตรฐานหรือมาตรฐานอ้างอิงในอุตสาหกรรมต่างๆเป็นไปแนวทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามประเทศที่ยังไม่เข้าร่วมเป็นสมาชิก ISO และ IEC เป็นประเทศที่กำลังเกิดการเปลี่ยนแปลงสู่การเปิดประเทศ ดังนั้นการดำเนินการมาตรฐานต่างๆ ของกลุ่มประเทศอาเซียนควรอ้างอิงจากมาตรฐาน ISO (ปัจจุบัน) เพื่อเตรียมความพร้อมให้กับประเทศในกลุ่มอาเซียน ส่วนในกรณีของประเทศเกาหลีใต้ สาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น นิวซีแลนด์ ออสเตรเลีย และอินเดีย ทั้งหมดเป็นสมาชิก ISO และ IEC แล้วนั้น ทำให้เชื่อได้ว่าพื้นฐานการกำหนดมาตรฐานต่างๆ ในกลุ่มอาเซียน +6 สามารถดำเนินการในแนวทางเดียวกันได้ สำหรับการเสนอมาตรฐานใหม่ในด้านต่างๆ จำเป็นต้องผ่านองค์กรระหว่างประเทศเพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับมาตรฐานใหม่ๆ (กรณีมาตรฐานแบบสมัครใจ) ในขณะเดียวกันเพื่อแสวงแนวทางหรือข้อปฏิบัติที่ดีที่สุดในการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ ได้คัดเลือกประเทศต้นแบบใน 3 ภูมิภาคโดยพิจารณาจากดัชนีความสามารถด้านโลจิสติกส์ (Logistics Performance Index: LPI) ของประเทศต่างๆ จากทวีปเอเชีย ยุโรป และสหรัฐอเมริกา (World Bank, 2012) ซึ่งได้ประเทศญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ และสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศต้นแบบในการศึกษาในแต่ละภูมิภาค ซึ่งจากการศึกษาได้สรุปและเปรียบเทียบกับกลุ่มประเทศอาเซียนโดยภาพรวม โดยมีประเด็นในการศึกษาตามกรอบการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ คือ

- 1) มาตรฐานอุปกรณ์และการเชื่อมทางกายภาพ
- 2) มาตรฐานด้านการเชื่อมต่อของข้อมูลสารสนเทศ และ
- 3) มาตรฐานด้านกฎระเบียบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของประเทศต้นแบบและกลุ่มประเทศอาเซียน

	สหรัฐอเมริกา	เนเธอร์แลนด์	ญี่ปุ่น	อาเซียน
1. มาตรฐานอุปกรณ์ (Equipment) และการเชื่อมต่อทางกายภาพ (Connection)	-อ้างอิงมาตรฐานตาม ISO เป็นหลัก -สำหรับมาตรฐานของอุปกรณ์บางชนิด จะมีบริษัทที่เป็นรายใหญ่เป็นผู้กำหนดและให้ผู้ที่เกี่ยวข้องภายใน โซ่อุปทานยึดมาตรฐานดังกล่าว เป็นต้นแบบ	-อ้างอิงตามมาตรฐาน ISO เป็นหลัก -สำหรับมาตรฐานของอุปกรณ์บางอย่างซึ่งมีการใช้ภายในกลุ่มประเทศสมาชิกอียู จะมีหน่วยงานกลางของ EU ที่เรียกว่า EU Commission เป็นผู้กำหนด	-มาตรฐานของญี่ปุ่นจะต้องอ้างอิงตาม JIS ซึ่งเป็นข้อกำหนดมาตรฐานต่างๆ ของญี่ปุ่น โดยเฉพาะเรื่องความปลอดภัย	-อ้างอิงตาม ISO เป็นหลัก เนื่องจากเป็นความต้องการของลูกค้า แต่สำหรับการใช้ภายในประเทศส่วนใหญ่ไม่มีมาตรฐาน -มีการออกแบบงาน AEC กำกับเพื่อให้ทุกๆ ประเทศจัดทำแผนให้สอดคล้อง
2. มาตรฐานด้านการเชื่อมต่อข้อมูลสารสนเทศ (Communication)	-มีการใช้ระบบ National Single Window อย่างเต็มรูปแบบ สามารถเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกันได้ในระดับ Global จนถึงระดับ B2B -มีการใช้เทคโนโลยีต่างๆ มาเป็นช่วยสนับสนุนกระบวนการเชื่อมต่อข้อมูล อาทิ RFID , GS1	-มีระบบ NSW ที่สามารถเชื่อมโยงกันได้อย่างสมบูรณ์ภายในประเทศ -มีการนำ GS1 และเทคโนโลยีในการติดตามมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น GPS, RFID	-มีระบบ EDI ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกัน -มี NSW ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลในระดับ G2G, G2B และ B2B อย่างสมบูรณ์	-มีเป้าหมายที่จะให้ระบบการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างกันเป็น ASEAN Single Window -ประเทศส่วนใหญ่อยู่ระหว่างการพัฒนา NSW ของตนให้เชื่อมโยงได้ในระดับประเทศ ยกเว้นสิงคโปร์ และมาเลเซียที่มีระบบ NSW ที่สามารถเชื่อมโยงได้อย่างสมบูรณ์ -สำหรับเทคโนโลยีที่นำมาใช้ เช่น RFID, GS1 มีใช้เฉพาะในบริษัทใหญ่ และบริษัทที่มีการร่วมทุนกับต่างชาติ ซึ่งไม่แพร่หลายนัก
3. มาตรฐานด้านกฎระเบียบ (Rules and Regulations)	-กฎระเบียบและนโยบายเกี่ยวกับมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของสหรัฐฯ จะมีมาตรการและกฎระเบียบในหลายๆ ด้าน แต่สหรัฐฯ จะเน้นการสร้างมาตรฐานความปลอดภัยในกระบวนการโลจิสติกส์ทั้ง Supply Chain ดังนั้นจะมีมาตรการต่างๆ ที่สหรัฐฯ กำหนดมาใช้เพื่อควบคุมมาตรฐานในเชิงการค้า ได้แก่ มาตรการ CT-PAT, CSI, 24 Hours Rule, Bioterrorism, 100% Scanning เป็นต้น	-เนื่องจากอียู เป็นการรวมตัวของประเทศต่างๆ ทั้งหมด 27 ประเทศ ดังนั้นมาตรการ และกฎระเบียบที่เป็นมาตรฐานของอียู จะเน้นการสร้าง และผลักดันมาตรฐานร่วมกันในการเชื่อมโยงระบบการขนส่งระหว่างกันอย่างมีประสิทธิภาพ มีการกำหนดกฎเกณฑ์ร่วมกันของการขนส่งที่เชื่อมโยงกันในทุกๆ โหมด (ถนน, รถไฟ, น้ำ และอากาศ)	-กฎระเบียบด้านมาตรฐานของญี่ปุ่นจะมุ่งเน้นเรื่องการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (Green Logistics) -ข้อกำหนดในด้านการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพ มีการออกกฎหมาย Energy Act	-กฎระเบียบของการค้า ซึ่งเป็นสากล จะอ้างอิงกฎหมาย และกฎระเบียบของสากล -สำหรับกฎระเบียบภายในอาเซียน ได้มีการจัดทำ MRA สำหรับมาตรฐานในบางด้าน เช่น มาตรฐานวิชาชีพตามกรอบ AEC เป็นต้น

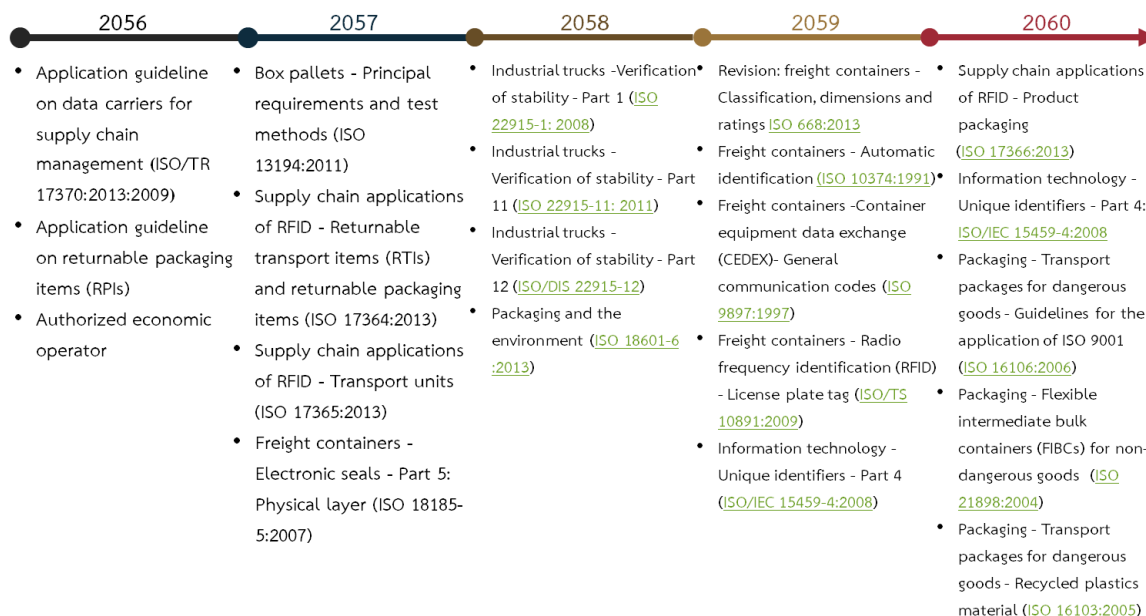
ข้อเสนอกรอบแนวทางการจัดทำมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของไทย จากประเด็นการศึกษาข้างต้น ได้วิเคราะห์ผลและจัดทำเป็นกรอบแนวทางในการพัฒนาการมาตรฐาน โลจิสติกส์ของไทย โดยอ้างอิงถึงระดับของความสัมพันธ์ของผู้เล่นในโซ่อุปทาน (Spekman et al, 1998) ตั้งแต่โดยเริ่มจากการเจรจาแบบตลาดเปิด (Open Market) ซึ่งจะไม่มีการบูรณาการในกระบวนการโลจิสติกส์ระหว่างผู้เล่นในโซ่อุปทาน ก่อนที่จะพัฒนามาสู่การปฏิบัติงานร่วมกัน (Cooperation) ซึ่งในขั้นนี้จะเป็นการเชื่อมโยงในระดับกายภาพ ต่อมาเมื่อมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลสารสนเทศระหว่างกันก็จะพัฒนาไปสู่การประสานงานร่วมกัน (Coordination) และในขั้นสูงสุดของการพัฒนาจะเข้าสู่การดำเนินงานในลักษณะขององค์กรเสมือน (Virtual Organization) ด้วยการทำงานร่วมกัน (Collaboration) จากองค์ประกอบ 3Cs และกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ทั้ง 3 มิติ สามารถแสดงให้เห็นในภาพร่างของแผนพัฒนาซึ่งระบุถึงระดับของผลกระทบต่อกระบวนการ โลจิสติกส์การค้าระหว่างประเทศ ดังภาพที่ 2 การกำหนดกรอบเวลาของแผนงานนั้นได้รับฉันทามติจากการประชุมกลุ่มย่อยให้ดำเนินการในระยะ 5 ปี แล้วนำมาทบทวนรายปีเพื่อปรับปรุงแผนงานให้สอดคล้องกับสถานการณ์ช่วงเวลานั้นๆ



ภาพที่ 2 ร่างแผนพัฒนาการมาตรฐานด้าน โลจิสติกส์ไทย

ในงานวิจัยนี้ได้จัดลำดับความสำคัญของมาตรฐาน โลจิสติกส์ อ้างอิงตามแบบจำลองโซ่อุปทานในมาตรฐาน ISO/TR 13730: Application Guideline on Data Carriers for Supply Chain Management ซึ่งได้แบ่งลำดับชั้นการจัดการโซ่อุปทานเป็น 6 ชั้น ซึ่งลำดับชั้นของการบันทึกข้อมูลดังกล่าวมีนัยยะถึงลักษณะทางกายภาพของวัตถุที่ข้อมูลเคลื่อนย้ายไปพร้อมกัน โดยเรียงลำดับจากหน่วยเล็กที่สุดไปหน่วยใหญ่สุด ได้แก่ ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ หน่วยขนส่ง บรรจุภัณฑ์เพื่อการขนส่งแบบหมุนเวียน ตู้คอนเทนเนอร์บรรทุกสินค้า และ

ยานพาหนะ ดังนั้นกรอบการพัฒนาการมาตรฐานโลจิสติกส์ของไทยในระยะ 5 ปี จึงมีรายละเอียดของแผนงานดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กรอบการพัฒนาการมาตรฐานโลจิสติกส์ของประเทศไทย 5 ปี

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

กระบวนการโลจิสติกส์นั้นมีกิจกรรมที่กว้างและเกี่ยวข้องกับผู้ดำเนินการเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังเชื่อมโยงไปทั่วโลกผ่านเครือข่ายโซ่อุปทานในระดับโลก การจัดทำมาตรฐานโลจิสติกส์ของไทยจึงจำเป็นต้องอ้างอิงมาตรฐานสากลที่ประเทศคู่ค้าของไทยยอมรับ ซึ่ง ISO ได้รับเลือกให้เป็นมาตรฐานอ้างอิงสำหรับการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของไทย โดยมีกลุ่มมาตรฐาน ISO ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการโลจิสติกส์จำนวน 12 กลุ่ม รวมทั้งสิ้น 3,724 รายการ จากนั้นจึงนำคัดกรองมาตรฐานที่เกี่ยวข้องด้วยกรอบ 3Cs จะได้มาตรฐานที่ไทยควรนำมาจัดทำทั้งสิ้น 21 รายการ และจัดลำดับความสำคัญการจัดทำมาตรฐานด้านโลจิสติกส์อ้างอิงตามลำดับชั้นของแบบจำลองโซ่อุปทาน ISO/TR 17370 ตามแผนงานพัฒนาการมาตรฐานโลจิสติกส์ของไทยในระยะ 5 ปี ซึ่งแผนงานที่นำเสนอในเอกสารฉบับนี้เป็นเพียงกรอบพัฒนาเพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติสำหรับจัดทำมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ในแต่ละปี สามารถปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้จากหลายๆปัจจัย เช่น ผลลัพธ์จากการดำเนินการในปีก่อนหน้า ความเร่งด่วนของปรับปรุงกระบวนการจากปัจจัยระหว่างประเทศ หรือเพื่อความสอดคล้องกับแผนพัฒนาโลจิสติกส์ในภาพใหญ่ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นผลการศึกษาภายใต้โครงการพัฒนาการมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ของประเทศไทยเพื่อรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยงบประมาณของสำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม

เอกสารอ้างอิง

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.). 2556. **แผนยุทธศาสตร์การพัฒนา**

ระบบโลจิสติกส์ของไทย ฉบับที่ 2 (2556-2560).

สำนักงานโลจิสติกส์. 2554. **คู่มือแนะนำมาตรฐานด้านโลจิสติกส์ในประเทศไทย.** กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, กระทรวงอุตสาหกรรม.

APEC. 2009. **Supply-chain connectivity across APEC: Improving trade logistics.** Center for International Economics, Canberra and Sydney.

Cooper, M., Lambert, D. and Page, J. 1997. Supply Chain management: More than a new name of logistics.

International Journal of Logistics Management, 8(1).

ISO. 2012. **What's the Bottom line?** ISO Central Secretariat.

ISO. 2012. Application Guideline on Data Carriers for Supply Chain Management. Reference number of document: ISO/DTR 17370. Committee identification: ISO/TC 122.

JICA. 2009. **The research on the cross-border transport infrastructure: Phrase 3.** Final report.

Ke, Z (2010). Research on the the Standardization of Logistics. **Science Innovation Academic Frontier.** The Index of Science and Engineering (SEI). Online. Available from <http://www.seiofbluemountain.com/upload/product/201002/1265250298ii2fk1g9.pdf>.

Ministry of Economy, Trade and Investment (METI). 2007. White Paper on International and Economy and Trade 2007. pp. 162. Japan.

Notteboom T., Rodrigue J. 2008. Containerization Box Logistics and Global Supply Chain: The Integration of Ports and Liner Shipping Networks. **Maritime Economics & Logistics**, 10(12). pp 152-174.

National Platform Electromobility (NPE). 2010. **The German Standardization Roadmap for Electromobility-Version1.0.1.** November 30, 2010.

Ramberg J. ICC Guide to Incoterms® 2010. ICC Publication No. 720, 2011.

Spekman, R., J.W.K. and Myhr, N. 1998. An Empirical investigation into supply chain management: A perspective on partnerships. **International Journal of Physical and Distribution & Logistics Management**, 28(8), pp.630-650.

Rodrigue J., Comtois, C., Slack, B. 2006. **The Geography of Transport Systems** (1st ed.). Routledge, USA.

Walker, W. 2004. **Supply Chain architecture: a blueprint for networking the flow of material, information, and cash.** The St. Lucie Press series on resource management.

World Bank, 2010. The Logistics Performance Index and Its Indicators. **Connecting to compete 2012: Trade Logistics in the Global Economy**. Washington DC, USA.

**ความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดของผู้ใช้บริการขนส่ง
กรณีศึกษาบริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่งจังหวัดสตูล**
**SATISFACTION OF THE MARKETING MIX OF THE TRANSPORT
CASE STUDY OF PROMZUP TRANSPORT SATUN**

อภินันท์ พรหมทรัพย์

มหาวิทยาลัยหาดใหญ่

E- mail: apinun_pz@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ 1 เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจต่อส่วนประสมการตลาดในการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง 2 เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดในการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จำแนกตามข้อมูลทั่วไป 3 เพื่อศึกษาปัญหาการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง โดยใช้ ผู้ที่มาใช้บริการขนส่ง บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง โดยแบ่งเป็นกลุ่มผู้ประกอบการ หน่วยงานราชการ โรงเรียน และร้านค้า จึงใช้จำนวนประชากร 213 คนคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างแบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 139 ชุด ซึ่งเป็นกลุ่มผู้ที่เคยใช้บริการบริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล สถิติที่ใช้คือ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis) และ สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic)

ผลการวิจัยพบว่า ผู้ที่ใช้บริการบริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ไม่แตกต่างกัน ที่ผลการวิจัยปรากฏเช่น เป็นเพราะว่า ความพึงพอใจส่วนประสมทางการตลาดบริการทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ด้านการบริการขนส่งสินค้า ด้านราคาค่าขนส่ง ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ด้านกระบวนการให้บริการ และด้านลักษณะทางกายภาพ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของธุรกิจร้านค้าแต่ขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาดำเนินกิจการ ความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้บริการขนส่งสินค้า รายได้ของกิจการ โดยเฉลี่ยต่อเดือนและมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมการตลาดในระดับปานกลางทุกข้อ เช่น ประเภทสินค้า ราคาค่าขนส่ง ช่องทางการจัดจำหน่าย การส่งเสริมการตลาด บุคลากรที่ให้บริการ กระบวนการให้บริการ และลักษณะทางกายภาพของสถานที่ให้บริการขนส่ง

คำสำคัญ : ความพึงพอใจ, ส่วนประสมทางการตลาด, ขนส่ง

ABSTRACT

The objectives of the study on satisfaction towards the marketing mix of transportation service users for the case study of Promsup Transportation Company, Satun Province were to study the level of satisfaction

towards the marketing mix in using the service of Promsup Transportation Company, to compare the satisfaction towards the marketing mix in using the service of Promsup Transportation Company classified according to general data and to study the problems of using the service of Promsup Transportation Company using the service users of Promsup Transportation Company divided as groups of entrepreneurs, government authorities, schools and stores. 213 population were used to calculate the sample size. 139 sets of questionnaire were used as tools to collect data from the samples who were service users of Promsup Transportation Company, Satun Province. The statistics used were analysis descriptive and inferential statistic.

The results were found that service users of Promsup Transportation Company, The satisfaction of the marketing mix. No difference The findings appear as a marketing mix that satisfied both 7 aspects cargo services. The freight cost The distribution channel Promotion and Marketing The service personnel The service processes And the physical Does not depend on the Type of business, but it depends on the store. Long-run Average annual frequency of freight service. The average monthly cost of freight. The average revenue per month. Satun Province had mean satisfaction towards the marketing mix in every point namely type of product, transportation fee, distribution channel, marketing promotion, service provider, service process and physical character of the place that provide transportation service.

KEYWORDS : Satisfaction ,Marketing mix, Transport

บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจด้านโลจิสติกส์ถือว่าได้รับความนิยมอย่างมากในแวดวงธุรกิจภายในประเทศไทย เนื่องจากกลไกการค้าได้มีการปรับเปลี่ยนทำให้การค้าในปัจจุบันเป็นการค้าแบบเสรีส่งผลให้ด้านการแข่งขันมีความรุนแรงมากขึ้นอีกทั้งด้านเทคโนโลยีสารสนเทศก็ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและก้าวหน้าอย่างรวดเร็วทำให้มีการเชื่อมต่อของข้อมูลข่าวสารและสินค้าที่เร็ว จึงควรมีการกำหนดกลยุทธ์เกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขัน ได้การจัดการโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพต้องมีการวางแผน การปฏิบัติงาน และการควบคุมการเคลื่อนย้ายสินค้าจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดให้บริการเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายใต้ต้นทุนต่ำที่สุดและสามารถสร้างความประทับใจให้กับลูกค้า (ศิริวรรณ เสรีรัตน์ และคณะ, 2546) ซึ่งจำนวนผู้ประกอบการด้านโลจิสติกส์ของประเทศไทยมีเพียงร้อยละ 10 และเป็นการร่วมทุนระหว่างผู้ประกอบการชาวไทยและชาวต่างชาติร้อยละ 80 (ผู้จัดการ, 2551)

แต่ในขณะเดียวกันนอกจากนี้ธุรกิจขนส่งมีอุปสรรคในการเข้าสู่อุตสาหกรรมต่ำ ผู้ประกอบการสามารถเข้าสู่ธุรกิจได้ง่าย จึงทำให้เกิดผู้ประกอบการรายใหม่มากขึ้น(กรมการขนส่งทางบก,2547 อ้างอิงถึงใน กิตติชัย กิติภรณ์ , 2548) เหตุนี้จึงหวั่นวิตกที่ส่วนใหญ่เป็นการค้าส่งและค้าปลีกในสาขาการเกษตรเกี่ยวกับผลผลิตทางการเกษตร และเนื่องจากจังหวัดสตูล มีอาณาเขตติดต่อกับมาเลเซีย จึงมีการค้าระหว่างไทยมาเลเซีย โดยมีช่องทางผ่านเข้าออกสองช่องทาง คือด่านศุลกากรสตูล และด่านศุลกากรวังประจัน สินค้าส่งออกสำคัญได้แก่ วัสดุก่อสร้าง (อิฐก่อสร้าง กระเบื้องมุงหลังคา กระเบื้องซีเมนต์กันน้ำ แผ่นยิปซัมสำหรับกันผนัง) หอมแดง เครื่องยนต์

ฮอนด้า เป็นต้น สินค้านำเข้าที่สำคัญได้แก่ ส่วนประกอบเครื่องบีบน้ำมันปาล์ม เรือโดยสารเก่าใช้แล้ว กุ้งฝอยหมักเกลือ กะปิ ฟ้าโสร่งปาเต๊ะ เสื้อผ้า เป็นต้น ในปีที่ผ่านมาการค้าชายแดนจังหวัดสตูลปี 2556 มีข้อมูลในการส่งออกและนำเข้าจำนวน 163.20 ล้านบาท แยกเป็น ข้อมูลการส่งออก จำนวน 42.68 ล้านบาท ข้อมูลการนำเข้า 110.51 ล้านบาท (สำนักงานอำเภอจังหวัดสตูล, รายงานประจำปี 2557) จึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการพัฒนาขนส่งสินค้าที่มีประสิทธิภาพ มีการวางแผน ปรับปรุง และเพิ่มศักยภาพได้อย่างเหมาะสม เพื่อยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันและดำเนินธุรกิจให้อยู่รอดได้ภายใต้สภาวะการแข่งขันของธุรกิจที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จังหวัดสตูลเป็นจังหวัดที่มีการแข่งขันทางการขนส่งสูง เพราะติดกับประตูชายแดนทำให้มีการเข้าออกของสินค้าจำนวนมาก การขนส่งสินค้าจึงมีความจำเป็นเพื่อขับเคลื่อนสินค้าให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าจากต้นน้ำไปยังปลายน้ำได้อย่างเหมาะสม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดของผู้ใช้บริการขนส่งกรณีศึกษา บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการวางแผนการตลาดเชิงกลยุทธ์ที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการปรับปรุงพัฒนาความสามารถในการให้บริการตลอดจนแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการบริการเพื่อให้เกิดการให้บริการอย่างต่อเนื่องและสร้างความพอใจสูงสุดให้กับลูกค้า

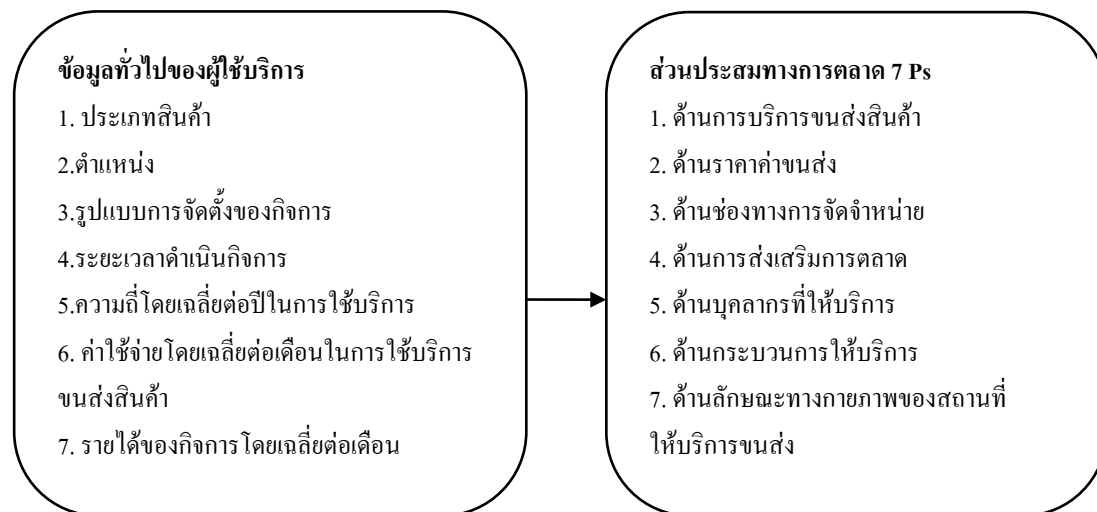
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับความพึงพอใจต่อส่วนประสมการตลาดในการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง
2. เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดในการใช้บริการบริษัท พรหมทรัพย์ขนส่ง จำแนกตามข้อมูลทั่วไป
3. เพื่อศึกษาปัญหาการให้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง

สมมติฐานการวิจัย

ผู้ให้บริการที่มีข้อมูลทั่วไปต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมการตลาดบริการทั้ง 7 ด้านต่างกัน

กรอบแนวคิดการวิจัย



รูปประกอบที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีการวิจัย

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ที่มาใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่งจังหวัดสตูล ผู้ที่เข้ามาใช้บริการโดยมีกลุ่มผู้ประกอบการ ร้านค้า หน่วยงานราชการ โรงเรียน เป็นจำนวน 213 คน (พรหมทรัพย์ ขนส่ง, 2556) การกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้ตาราง Krejcie and Morgan (1970) ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 139 ตัวอย่าง การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เป็นหลักการที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล นำเสนอข้อมูลและคำนวณค่าสถิติเบื้องต้น ซึ่งเป็นการอธิบายหรือบรรยายลักษณะของข้อมูลที่เก็บรวบรวมประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ผู้ที่มาใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่งจังหวัดสตูล ผู้ที่เข้ามาใช้บริการโดยมีกลุ่มผู้ประกอบการ ร้านค้า หน่วยงานราชการ โรงเรียน เป็นจำนวน 213 คน (พรหมทรัพย์ ขนส่ง, 2556) การกำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้ตาราง Krejcie and Morgan (1970) ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 139 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ค่าสถิติร้อยละ (Percentage) ในส่วนของข้อมูลทั่วไปของผู้ใช้บริการ ประเภทสินค้า ตำแหน่ง รูปแบบการจัดตั้งของกิจการ ระยะเวลาดำเนินกิจการ ความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการ ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้บริการขนส่งสินค้า ค่าคะแนนเฉลี่ย (Arithmetic Mean) ในส่วนของความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.) ในส่วนของความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด วิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistic) ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ จะนำข้อมูลที่ได้ออกวิธีการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for Social Sciences) For Windows Version 11.5 ดังนี้ การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั่วไปของผู้บริการกับความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดของผู้ใช้บริการขนส่งโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA)

อภิปรายผล

ศึกษาความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดของผู้ใช้บริการขนส่งกรณีศึกษา บริษัท พรหมทรัพย์ขนส่ง จังหวัดสตูลมีประเด็นที่ผู้วิจัยได้นำมาสรุปผล ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลทั่วไป ของผู้ตอบแบบสอบถามโดยส่วนใหญ่พบว่า เป็นผู้ประกอบการเกี่ยวกับสินค้าอุปโภคบริโภคคิดเป็นร้อยละ 33.1 และเป็นเจ้าของกิจการ คิดเป็นร้อยละ 67.6 และผู้ประกอบการที่เข้ามาใช้บริการเป็นเจ้าของคนเดียว คิดเป็นร้อยละ 71.2 ระยะเวลาดำเนินส่วนใหญ่อยู่ที่ 6-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 38.1 โดยมีความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้า 6-10 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 39.6 และค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้บริการขนส่งสินค้าอยู่ในช่วงมากกว่า 30,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 27.3 มีรายได้ของกิจการโดยเฉลี่ยต่อเดือนส่วนใหญ่อยู่ในช่วงน้อยกว่า 100,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 56.8

ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการขนส่งสินค้า โดยภาพรวม พบว่า ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการขนส่งสินค้าอยู่ในระดับ ปานกลาง และเมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้ ด้านบุคลากร ด้านกระบวนการให้บริการ ด้านราคา ด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านลักษณะทางกายภาพ ด้านการส่งเสริมการตลาด

1. ด้านบุคลากร จากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 139 คน ได้ผลจากการสำรวจแบบสอบถามได้ผลจากการสำรวจแบบสอบถามเมื่อวิเคราะห์จะพบว่าผู้ให้บริการให้ความสำคัญในพนักงานมีความรับผิดชอบหน้าที่โดยมีการตัดสินใจระดับมากเท่ากับ (3.53) และรองลงมาคือ พนักงานมีความซื่อสัตย์ และน่าเชื่อถือ โดยมีการตัดสินใจระดับมากเท่ากับ (3.51) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2. ด้านกระบวนการให้บริการ พบว่าผู้ให้บริการมีความพึงพอใจในการให้ความร่วมมือในกรณีสินค้าชำรุดสูญหายกับความยืดหยุ่นบริการตามความต้องการของลูกค้าโดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.17) และรองลงมาคือ การติดต่อประสานงานมีความสะดวกรวดเร็วโดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.12)

3. ด้านราคา พบว่าผู้ให้บริการมีความพึงพอใจในการกำหนดอัตราค่าขนส่งไว้ชัดเจน โดยมีความพึงพอใจในระดับปานกลางเท่ากับ (3.31) และรองลงมาคือ สามารถชำระค่าบริการได้หลายวิธี เช่น เงินสด โอนเข้าบัญชี เช็ค โดยมีความพึงพอใจในระดับปานกลางเท่ากับ (3.29)

4. ด้านผลิตภัณฑ์และบริการ พบว่ามีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์ ดังนี้ ส่งมอบสินค้าในสภาพสมบูรณ์ไม่เสียหาย โดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.45) และรองลงมาคือ การรับประกันสินค้าชำรุดหรือสูญหายระหว่างการขนส่ง โดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.35)

5. ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย พบว่าผู้ให้บริการให้ความสำคัญในสามารถติดต่อได้หลายช่องทาง เช่น โทรศัพท์ แฟกซ์ อินเทอร์เน็ตโดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.36) และรองลงมาคือ เวลาเปิด-ปิดของบริษัทขนส่งมีความเหมาะสม โดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.18)

6. ด้านลักษณะทางกายภาพ พบว่าผู้ให้บริการให้ความสำคัญในการให้บริการขนส่งและรถบรรทุกมีป้ายและสัญลักษณ์ที่มองเห็นได้เด่นชัดกับความปลอดภัยของอาคารเก็บสินค้าโดยมีการตัดสินใจระดับปานกลาง

เท่ากับ (3.42) และรองลงมาคือ ความสะดวกและเป็นระเบียบของอาคารเก็บสินค้า โดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.31)

7. ด้านการส่งเสริมการตลาด พบว่าผู้ใช้บริการให้ความสำคัญในการให้ส่วนลดตามปริมาณการขนส่งโดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.25) และรองลงมาคือมีของขวัญแถมลูกค้าเนื่องในโอกาสพิเศษเช่นวันขึ้นปีใหม่ โดยมีการตัดสินใจระดับปานกลางเท่ากับ (3.12)

2. ปัญหาที่พบในการใช้บริการขนส่งสินค้า พบว่าปัญหาจำนวนเที่ยวรถให้บริการไม่เพียงพอ คิดเป็นร้อยละ 41.7 ไม่มีปัญหาด้านราคา คิดเป็นร้อยละ 45.3 เวลาเปิด – ปิดเร็วเกินไป คิดเป็นร้อยละ 48.2 ไม่มีปัญหาด้านการส่งเสริมการตลาดคิดเป็นร้อยละ 43.9 ไม่มีปัญหาด้านบุคลากร คิดเป็นร้อยละ 46.0 ไม่ปรับปรุงการให้บริการภายหลังได้รับคำติชม คิดเป็นร้อยละ 45.3 ไม่มีปัญหาด้านลักษณะทางกายภาพคิดเป็นร้อยละ 46.8

3. ทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดที่พบในการใช้บริการขนส่งสินค้า

1. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตามประเภทร้านค้าพบว่าผู้ใช้บริการที่มีประเภทร้านค้าที่ต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านส่งเสริมการตลาด ด้านบุคคล ด้านกระบวนการ และ ด้านกายภาพ แตกต่างกัน

2. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตาม ตำแหน่ง พบว่าตำแหน่งที่ต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านส่งเสริมการตลาด ด้านบุคคล ด้านกระบวนการ และ ด้านกายภาพ จำแนกตามตำแหน่งพบว่าแตกต่างกัน

3. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตามรูปแบบการจัดตั้งกิจการ พบว่ารูปแบบการจัดตั้งกิจการที่ต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านส่งเสริมการตลาด ด้านบุคคล ด้านกระบวนการ และ ด้านกายภาพ จำแนกตามรูปแบบการจัดตั้งกิจการพบว่าแตกต่างกัน

4. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตามระยะเวลาการดำเนินกิจการ พบว่าผู้ใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง ที่มีระยะเวลาการดำเนินกิจการแตกต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านกระบวนการให้บริการ ด้านกายภาพ แตกต่างกัน แต่กลับพบว่าผู้ใช้บริการที่มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ในด้านบุคลากร แตกต่างกัน

5. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตามความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้า พบว่าผู้ใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง ที่มีความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้าแตกต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านกระบวนการให้บริการ ด้านกายภาพ ด้านบุคลากร แตกต่างกัน

6. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตามระยะเวลาการดำเนินกิจการ พบว่าผู้ให้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง ที่มีระยะเวลาการดำเนินกิจการแตกต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากร ด้านกายภาพ แตกต่างกัน แต่กลับพบว่าผู้ให้บริการที่มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และ ด้านกระบวนการให้บริการ และ แตกต่างกัน

7. ผลการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจำแนกตามจำแนกตามรายได้ของกิจการ โดยเฉลี่ยต่อเดือนพบว่าผู้ให้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง ที่มีรายได้ของกิจการโดยเฉลี่ยต่อเดือนแตกต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดการใช้บริการ บริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง จังหวัดสตูล ในด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านกระบวนการให้บริการ ด้านกายภาพ ด้านบุคลากร แตกต่างกัน

สรุปสมมติฐานดังนี้

ประเภทร้านค้าได้แก่สินค้าอุปโภคบริโภคทั่วไป อุปกรณ์การเรียน อะไหล่เครื่องจักรเครื่องยนต์ชิ้นส่วน รถ วัสดุอุปกรณ์เพื่อการเกษตรและปศุสัตว์ วัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เวชภัณฑ์และเครื่องสำอางเฟอร์นิเจอร์และเครื่องใช้ในครัวเรือน ต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ไม่แตกต่างกัน ที่ผลการวิจัยปรากฏเช่น เป็นเพราะว่า ความพึงพอใจส่วนประสมทางการตลาดบริการ ทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ด้านการบริการขนส่งสินค้า ด้านราคาค่าขนส่ง ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ด้านกระบวนการให้บริการ และด้านลักษณะทางกายภาพ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ ประเภทของธุรกิจร้านค้าแต่ขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาดำเนินกิจการ ความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้บริการขนส่งสินค้า รายได้ของกิจการโดยเฉลี่ยต่อเดือน

ตำแหน่งได้แก่ เจ้าของกิจการ ผู้จัดการ พนักงานธุรการ พนักงานขาย ต่างกัน โดยพบว่า ตำแหน่งต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ไม่แตกต่างกัน ที่ผลการวิจัยปรากฏเช่น เป็นเพราะว่า ความพึงพอใจส่วนประสมทางการตลาด ด้านการบริการขนส่งสินค้า ด้านราคาค่าขนส่ง ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ด้านกระบวนการให้บริการ และด้านลักษณะทางกายภาพ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ ตำแหน่งแต่ขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาดำเนินกิจการ ความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้บริการขนส่งสินค้า รายได้ของกิจการโดยเฉลี่ยต่อเดือน

รูปแบบการจัดตั้งกิจการได้แก่เจ้าของคนเดียว ห้างหุ้นส่วนจำกัด บริษัทจำกัด ต่างกัน โดยพบว่า ตำแหน่งต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ไม่แตกต่างกัน ที่ผลการวิจัยปรากฏเช่น เป็นผลการวิจัยปรากฏเช่น เป็นเพราะว่า ความพึงพอใจส่วนประสมทางการตลาดบริการทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ด้านการบริการขนส่งสินค้า ด้านราคาค่าขนส่ง ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ด้านกระบวนการให้บริการ และด้านลักษณะทางกายภาพ ไม่ได้ขึ้นอยู่กับ รูปแบบการจัดตั้งกิจการแต่ขึ้นอยู่กับ ระยะเวลาดำเนินกิจการ ความถี่โดยเฉลี่ยต่อปีในการใช้บริการขนส่งสินค้า ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนในการใช้บริการขนส่งสินค้า รายได้ของกิจการโดยเฉลี่ยต่อเดือน

ผู้ให้บริการที่อยู่ในธุรกิจ น้อยกว่า 1 ปี 2-5 ปี 6-10 ปี 11-20 ปี และ มากกว่า 20 ปี มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ด้านบุคลากร ต่างกันโดยพบว่าผู้ให้บริการที่มีระยะเวลาดำเนินการน้อยกว่า 1 ปี และระยะเวลาดำเนินการ 6-10 ปีมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดในการให้บริการน้อยกว่ากลุ่มที่มีระยะเวลาดำเนินการมากกว่า 20 ปี เพราะกิจการที่เปิดดำเนินการมากกว่า 20 ปี มีความผูกพัน และคุ้นเคยกับธุรกิจ (long term relationship in business) ทำให้ บุคลากรของบริษัทยังต้องสร้างความพึงพอใจกับลูกค้าเป็นพิเศษ

ผู้ให้บริการที่มีความถี่ในการให้บริการ น้อยกว่า 5 ครั้ง 6-10 ครั้ง 11-20 ครั้ง มากกว่า 20 ครั้ง มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดด้านผลิตภัณฑ์และบริการ ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากร ด้านกระบวนการให้บริการ ด้านกายภาพ ต่างกันโดยพบว่าผู้ให้บริการที่มีความถี่ในการให้บริการ ต่างกันโดยพบว่า กลุ่มความถี่ในการให้บริการ น้อยกว่า 5 ครั้ง และ กลุ่ม 6- 10 ครั้ง มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดในการให้บริการน้อยกว่า กลุ่ม 11-20 ครั้ง และกลุ่ม มากกว่า 20 ครั้ง ผลการวิจัยปรากฏเช่น เพราะว่าการที่ลูกค้ามีความถี่ในการให้บริการน้อยมักจะเรียกร้องในเรื่องของการบริการให้เทียบเท่ากับผู้ที่ให้บริการมากเมื่อเปรียบเทียบกับเทียบกลุ่มที่มีความถี่ในการให้บริการมาก จะได้รับความแตกต่างในการบริการจนถึงที่ ด้านราคาที่ต่ำกว่า การให้ส่วนลดในการให้บริการ ด้านการเครดิตค่าขนส่ง กลุ่มลูกค้าที่มีค่าใช้จ่ายมากกว่าจะได้รับความสำคัญลำดับแรก จึงเป็นเหตุให้ผู้ที่มีความถี่ใช้จ่ายต่ำกว่ามีความพึงพอใจต่ำกว่า (กลุ่มที่ให้บริการน้อยกว่า 5 ครั้ง และ กลุ่ม 6- 10 ครั้งมีระดับความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.5 - 2.98

ค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือน (น้อยกว่า 1000 บาท 1,000-5,000 บาท 5,001-10,000 บาท 10,001-20,000 บาท 20,001-30,000 บาท มากกว่า 30,000 บาท) ต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ด้านการบริการขนส่งสินค้า ด้านราคาค่าขนส่ง ด้านส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ด้านกระบวนการให้บริการ และด้านลักษณะทางกายภาพ แตกต่างกัน โดยพบว่ากลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนน้อยกว่า 1000 บาท มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ด้าน ผลิตภัณฑ์ ด้านราคา ด้านส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากร ด้านกายภาพแตกต่างกับกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือนมากกว่า 30,000 บาทที่ผลการวิจัยปรากฏเช่นนี้เพราะว่า กลุ่มลูกค้าที่ค่าใช้จ่ายน้อยมักจะมีความต้องการให้ตอบสนองในเรื่องของการบริการหรือราคาเป็นพิเศษแต่ทางบริษัทไม่สามารถให้ได้ต่างกับผู้ที่ใช้บริการมารับการบริการที่เหมือนกันกับกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายมากกว่าเมื่อเทียบกลุ่มที่มีค่าใช้จ่ายมาก จะได้รับความแตกต่างในการบริการจนถึงที่ ด้านราคาที่ต่ำกว่า การให้ส่วนลดในการใช้บริการ ด้านการเครดิตค่าขนส่ง กลุ่มลูกค้าที่มีค่าใช้จ่ายมากกว่าจะได้รับความสำคัญลำดับแรกจึงเป็นเหตุให้ผู้ที่มีความถี่ใช้จ่ายต่ำกว่ามีความพึงพอใจต่ำกว่า (โดยค่าระดับความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.3 – 3.0)

ผลการวิจัยพบว่ารายได้กิจการเฉลี่ยต่อเดือน (น้อยกว่า 100,000 บาท 100,001-500,000 บาท 500,001-1,000,000 บาท 1,000,001-5,000,000 บาท มากกว่า 5 ล้านบาท) ต่างกันมีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ด้านการบริการขนส่งสินค้า ด้านราคาค่าขนส่ง ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย ด้านการส่งเสริมการตลาด ด้านบุคลากรที่ให้บริการ ด้านกระบวนการให้บริการ และด้านลักษณะทางกายภาพ แตกต่างกันทุกด้านโดยพบว่า กลุ่มรายได้กิจการเฉลี่ยต่อเดือน น้อยกว่า 100,000 บาท มีความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาด ทั้ง 7 ด้านแตกต่างกับกลุ่ม รายได้กิจการเฉลี่ยต่อเดือน 1,000,000 – 5,000,000 บาท ผลวิจัยปรากฏเช่นนี้ เพราะว่าการที่กลุ่มลูกค้าที่มีรายได้กิจการเฉลี่ยต่อเดือนน้อยส่วนมากเป็นกลุ่มที่มีการใช้บริการน้อยแต่ต้องการในเรื่อง

ของการบริการหรือราคาเป็นพิเศษแต่ทางบริษัทไม่สามารถให้ได้ต่างกับผู้ที่มิรายได้กิจการเฉลี่ยต่อเดือนมาก ส่วนมากเป็นผู้ที่ใช้บริการจำนวนมากจึงจะได้รับความแตกต่างในการบริการขนส่งถึงที่ ด้านราคาที่ต่ำกว่า การให้ส่วนลดในการใช้บริการ ด้านการเครดิตค่าขนส่ง กลุ่มลูกค้าที่มีค่าใช้จ่ายมากกว่าจะได้รับความสำคัญลำดับแรก จึงเป็นเหตุให้ผู้ที่มีความใช้จ่ายต่ำกว่ามีความพึงพอใจต่ำกว่า

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพและปรับปรุงรูปแบบกิจการการขนส่งของบริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง ให้มีมาตรฐานการบริการและการจัดการกระบวนการต่างๆ ในการบริหารบริษัท พรหมทรัพย์ ขนส่ง ให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผล สามารถนำข้อมูลไปปรับและปฏิบัติได้ในการสร้างแผนธุรกิจ ตอบสนองความพึงพอใจแก่ลูกค้าและลดปัญหาคู่แข่งในตลาดขนส่งเดียวกัน ศึกษาความพึงพอใจต่อส่วน ประสมทางการตลาดของใช้บริการขนส่ง บริษัท พรหมทรัพย์ จากการศึกษาจากผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 139 คน ผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ด้านผลิตภัณฑ์และบริการ โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่อง ส่งมอบสินค้า ในสภาพสมบูรณ์ ไม่เสียหาย ทางผู้ประกอบการควรให้ความสำคัญในการจัดการระบบการส่งมอบสินค้าให้ สามารถตรวจสอบสินค้าจากต้นทางและปลายทางได้ เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นให้ลูกค้าและสร้างความน่าเชื่อถือให้กับ บริษัทในการสร้างจุดขายที่แตกต่างด้านผลิตภัณฑ์และบริการ

2. ด้านราคา โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่องสามารถต่อรองราคาได้ ผู้ประกอบการควรต้องมีการประชาสัมพันธ์ เพื่อให้ผู้ใช้บริการได้เข้าใจ ในการคิดค่าขนส่งว่ามีวิธีการคิดอย่างไร หรืออาจมีการจัดราคา หรือการจัดการส่งเสริมการตลาด เช่น มีการประกันสินค้าให้ฟรี เมื่อสินค้าเกิดความเสียหาย การลดราคาในช่วงที่เศรษฐกิจไม่ดี เพื่อสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า

3. ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่องสามารถติดต่อ ได้หลายช่องทาง เช่น โทรศัพท์ แฟกซ์ อินเทอร์เน็ต ปัจจุบันโลกได้มีการออนไลน์หลายรูปแบบ ซึ่ง ผู้ประกอบการควรจะต้องมีการติดต่อกับลูกค้าให้หลากหลายเพื่อการบริการที่ครอบคลุมและรวดเร็วในการตัดสินใจ ใช้บริการ

4. ด้านการส่งเสริมการตลาด โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่องการให้ส่วนลด ตามปริมาณการขนส่ง ผู้ประกอบการควรมีการคิดราคาค่าขนส่งในระดับที่แตกต่างกันและทำการตลาดโปรโมชัน สำหรับสินค้าที่เหมาะสมเป็นจำนวนมากหรือสินค้าที่มีการใช้บริการอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ราคาในส่วนลดพิเศษเป็นการ สร้างฐานลูกค้าในระยะยาวและสร้างฐานลูกค้าเก่าให้มั่นคงยิ่งขึ้น

5. ด้านบุคลากร โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่องพนักงานมีความรับผิดชอบ ต่อหน้าที่ ผู้ประกอบการมีการอบรมพนักงานในขั้นตอนการบริการและการปฏิบัติงานให้เป็นระบบ เพราะพนักงาน ก็เปรียบเสมือนภาพลักษณ์ของบริษัทให้ลูกค้าได้เห็นและเกิดการตัดสินใจใช้บริการขนส่ง

6. ด้านกระบวนการให้บริการ โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่องการให้ความ ร่วมมือในกรณีสินค้าชำรุดสูญหายและความยืดหยุ่นบริการตามความต้องการของลูกค้า จะเห็นได้ว่าการบริการ หลังการขนส่งและการสนับสนุนความต้องการของลูกค้าตามความเหมาะสมเป็นสิ่งจำเป็นที่ลูกค้าให้ความสำคัญ

ในการตัดสินใจและสร้างความพึงพอใจต่อการใช้บริการ ซึ่งผู้ประกอบการสร้างขั้นตอนบริการติดตามทวงถาม หลังจากได้มีการรับสินค้า เพื่อตรวจสอบความพึงพอใจในการใช้บริการและทราบบัญชีในการบริการของ พนักงาน ป้องกันเกิดปัญหาในระยะยาวกับลูกค้าและภาพลักษณ์ของบริษัท

7. ด้านลักษณะทางกายภาพ โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลางในเรื่องบริษัทขนส่งและ รถบรรทุกมีป้าย สัญลักษณ์ที่มองเห็นได้เด่นชัด ความปลอดภัยของอาคารเก็บสินค้า จะเห็นได้ว่าสถานที่ตั้งบริษัท ขนส่งควรมีแผนที่บอกทางให้ชัดเจน เพื่อสะดวกกับลูกค้าในการนำสินค้ามาส่งปลายทาง ควรมีการ ประชาสัมพันธ์หรือบริการสอบถามสถานที่ตั้งขนส่งเพื่อความสะดวกต่อการส่งสินค้าและช่วยประหยัดเวลา ให้กับลูกค้าที่มาส่งสินค้า และบริษัทควรมีสถานที่เก็บสินค้าที่มีความปลอดภัยมีระบบการรักษาความปลอดภัย เพื่อให้ลูกค้ามั่นใจในความปลอดภัยของสินค้าจะอยู่ในสภาพเดิมและถึงมือลูกค้าแน่นอน

จากผลการวิจัยผู้วิจัยมีประเด็นในการวิจัยดังนี้

1. ทศคดีเกี่ยวกับส่วนประสมทางการตลาด ของผู้ให้บริการขนส่งในจังหวัดสตูล
2. ปัจจัยที่ส่งผลต่อความจงรักภักดีของการตัดสินใจใช้บริการขนส่งในจังหวัดสตูล
3. การพัฒนาศักยภาพของปัจจัยที่มีผลต่อความจงรักภักดีของความพึงพอใจในการใช้บริการขนส่งของ จังหวัดสตูล
4. การศึกษาเรื่องกลยุทธ์การตลาดของธุรกิจขนส่งสินค้าที่นำมาใช้แข่งขันระหว่างธุรกิจขนส่งสินค้า และ ความพึงพอใจของผู้ให้บริการขนส่งที่มีต่อกลยุทธ์การตลาดของธุรกิจ
5. ศึกษากระบวนการจัดการ วิเคราะห์สภาพแวดล้อมของกิจการจะวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายนอก ตามภาวะเศรษฐกิจโลกที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและสภาพปัญหาการดำเนินงานของธุรกิจขนส่ง เพื่อพัฒนา ศักยภาพให้เติบโตสู่การจัดการห่วงโซ่อุปทาน และ โลจิสติกส์เพื่อรองรับการแข่งขันที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบันและ ส่งผลถึงการเติบโตทางธุรกิจในอนาคต
6. ศึกษาต้นทุนในการขนส่งสินค้าซึ่งมีความอ่อนไหวตามราคาน้ำมันและผลกระทบจากปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อ ราคาขนส่งรวมถึงเปรียบเทียบค่าขนส่งสินค้าทางรถบรรทุกกับการขนส่งทางรูปแบบอื่น

อ้างอิง

- Krejcie & Morgan, 1970. อ้างถึงใน ชีววุฒิเอกะกุล, 2543. การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อการวิจัย
- Oliver, R.L. 1980. A Cognitive Model of the Antecedents and Consequences of Satisfaction.
- Vroom, V.H. 1964. **Work and Motivation**. New York: John Willey & Sons.
- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการท่องเที่ยว (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556) จาก www.logisticthaiclub.com
- กรมการขนส่ง ทางบก, 2549. การขนส่งสินค้าเป็นองค์ประกอบการจัดการ โลจิสติกส์ (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556) จาก <http://www.dlt.go.th/th/>
- กรมการขนส่งทางบก, 2547. อ้างอิงถึงใน กิตติชัย กฤษฎรัตน์ , 2548 , 4 ปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือก ผู้ประกอบการขนส่งด้วยรถบรรทุกห้องเย็น

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2006. รายงานประจำปี (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556) จาก

<http://www.dip.go.th/Default.aspx?tabid=181>

ผู้จัดการ, 2551.ออนไลน์ (สืบค้นเมื่อวันที่ 10 พฤศจิกายน 2556) จาก <http://www.manager.co.th/Home/>

ไชยยศ ไชยมั่นคง 2544. การจัดการงานขนส่งสินค้า. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.

ธนศ เทพพิทักษ์. 2546. ความคาดหวังและการรับรู้ในการบริการสินเชื่อ Personal Plusธนาคาร ดีบีเอสไทยทุน

จำกัด (มหาชน) สาขาราชประสงค์. สารนิพนธ์ บธ.ม. (การจัดการ) กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร

นิวัติ อัญญะมณี. 2551. ได้ทำการศึกษาระดับความคาดหวังของลูกค้าที่มีต่องานบริการบำรุงรักษาของ บริษัท เม

เปิ้ลโซลูชั่น จำกัด. สารนิพนธ์ บธ.ม. (การตลาด). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทร

วิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.

**พฤติกรรมการใช้และการกำจัดภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลง
กรณีศึกษาชุมชนวัดสร้อยทอง กรุงเทพมหานคร**
**BEHAVIORS OF USING AND DISPOSAL OF PRODUCTS CONTAINING
HAZARDOUS SUBSTANCES, PESTICIDES, USED IN HOUSEHOLD: A CASE
STUDY OF WAT SOI THONG COMMUNITY, BANGKOK**

ปัญญ์พัชรกร บุญพร้อม

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

E-mail: punpaphatpron.bu@northbkk.ac.th

เพชรวัลย์ ธีระวัฒน์วงศ์

คณะบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

E-mail: phetcharawalai.thi@northbkk.ac.th

จิรวินัย ดิเรจิณชิตพงศ์

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ

E-mail: jirawin.de@northbkk.ac.th

วชิระ สิงหะเคนทร์

คณะสาธารณสุขศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ วิทยาลัยนครรราชสีมา วิทยาการกรุงเทพฯ

E-mail: ss120889@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) เพื่อศึกษาปัจจัยการรับรู้และพฤติกรรมในแง่ของการปฏิบัติ ในการใช้และการกำจัดภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลงในชุมชนโดยรอบวัดสร้อยทอง กรุงเทพมหานคร โดยศึกษาจากตัวอย่างประชาชนจำนวน 224 คน สถิติที่ใช้ได้แก่ จำนวนร้อยละ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและทดสอบหาความสัมพันธ์โดยใช้การทดสอบจากค่า Chi – Square และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน พบว่าประชาชนในพื้นที่วัดสร้อยทอง ส่วนมาก ร้อยละ 53.6 อยู่ในกลุ่มเพศหญิง มีอายุเฉลี่ย 38.56 ปี ส่วนมากมี อาชีพรับจ้าง ร้อยละ 57.6 มีรายได้ครอบครัวโดยเฉลี่ยต่อเดือน 11,267.73 บาท ส่วนมาก ร้อยละ 40.6 จบการศึกษามัธยมศึกษา จำนวนสมาชิกในครอบครัว พบว่ากลุ่มตัวอย่าง ส่วนมาก ร้อยละ 63.3 มีจำนวนมีสมาชิกในครอบครัวโดยเฉลี่ย 4 คน พบว่าสภาพสุขภาพที่พึงอาศัยและสิ่งแวดล้อมของที่ตั้งบ้านเรือนอยู่ในระดับปานกลางซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ควรมีการปรับปรุง มีการเลือกซื้อยาฆ่าแมลงชนิดของเหลวในภาชนะบรรจุพร้อมใช้ ชอบยาฆ่าแมลงที่มีกลิ่นหอมมีร้อยละ 66.1 มี ร้อยละ 78.6 ที่ซื้อโดยดู

จากโฆษณาแนะนำ มีระดับทัศนคติและความรู้ต่อการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับดีและในระดับปานกลางตามลำดับ พฤติกรรมก่อนใช้ขณะใช้และในภาพรวมในการใช้ยาฆ่าแมลงอยู่ในระดับดี และพบว่าระดับทัศนคติต่อการกำจัดภาชนะวัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลง มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายที่ใช้

คำสำคัญ : พฤติกรรม การกำจัด ภาชนะบรรจุวัตถุอันตราย

ABSTRACT

The study Behaviors of Using and Disposal of Products Containing Hazardous Substances, Pesticides, Used in Household :A Case Study of Wat Soi Thong Community, Bangkok. The samples were collected from a number of 224 respondents by using questionnaires. The statistics used were percentage, standard deviation, Chi-square correlation and Pearson correlation coefficient. The result revealed that most of samples at Soi Thong Temple area about 53.6 percent were female, the average ages were 38.56 years old. Most of them were self-employed. The average of family incomes 57.6 percent were 11,267.73 baht per month. Most of them about 40.6 percent graduated from high school. The average of family members, most of them about 63.3 percent had 4 members. Their household and environment around house were moderate proficiency which needed to improve. They used liquid insecticides and put in containers which were ready to use. About 66.1 percent, they liked good smell insecticides and about 78.6 percent, they bought after watching advertisements. They were good level in terms of attitude, knowledge, and removal products and medium level in order. Their behaviors had good level of before, during, and overall when using insecticides. It found that level of removal hazardous in house insecticide product attitude relate with behaviors of using and removal hazardous product.

KEY WORDS: Behavior, Removal, Hazardous container product, Removal

1. บทนำ

สภาพสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ประชากรต้องอาศัยอยู่อย่างหนาแน่น ทำให้สภาพสิ่งแวดล้อมด้านสุขาภิบาลของที่พักอาศัย การกำจัดขยะ น้ำทิ้งจากครัวเรือนไม่มีการกำจัดอย่างถูกวิธี ทำให้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลง และสัตว์กัดแทะ ซึ่งแหล่งเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สิน ความรำคาญ ทำความเดือดร้อนและยังนำพาโรคมารูสู่ประชาชน โดยเฉพาะุงที่เป็นตัวนำไข่เลือดออกซึ่งเป็นปัญหาสาธารณสุขอยู่ในปัจจุบัน ดวงใจ ดวงทิพย์ (2543) จึงมีความจำเป็นที่ีต้องการทำการป้องกัน และกำจัด ประชาชนส่วนใหญ่จึงนิยมใช้สารเคมีกำจัดแมลง ซึ่งหาซื้อได้ง่ายมีจำหน่ายทั่วไป และมีการโฆษณาผ่านสื่อทุกแขนง

สำหรับผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านเรือนพบว่ามีปริมาณการใช้เพิ่มมากขึ้นในกลุ่มผลิตภัณฑ์ป้องกันและกำจัด ยุง มด แมลงสาบ และหนู ประครอง สายจันทร์ (2547) ซึ่งวัตถุอันตรายที่นำมาใช้เป็น

ส่วนประกอบสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในบ้านเรือนพบว่า ผลิตภัณฑ์ป้องกันกำจัดแมลงแบบกระป๋องสเปรย์หรือของเหลวอัดก๊าซ ถ้ามีการทิ้งร่วมกับขยะทั่วไปแล้วไม่มีการจัดเก็บที่ดี สารเคมีที่อยู่ภายในกระป๋องเกิดการปนเปื้อนลงสู่พื้นดิน แหล่งน้ำและอากาศก็อาจก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม Judith K (2001).ทั้งในลักษณะเฉียบพลันและเรื้อรังได้ ปีติพันธ์ (2549) ทั้งนี้ ผลจากการสำรวจปี 2556 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมทั่วประเทศมีขยะมูลฝอยมากเกือบ 27 ล้านตัน ขยะเหล่านี้ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง 7.2 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 27 กำจัดแบบไม่ถูกต้อง 6.9 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 26 มีปริมาณขยะมูลฝอยตกค้างในพื้นที่ 7.6 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 28 อัตราการผลิตขยะต่อคนต่อวันเพิ่มขึ้นจากคนละ 1.03 กิโลกรัม ในปี 2546 เป็น 1.15 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน และยังพบการลักลอบทิ้งขยะอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้าจากชุมชน โดยเป็นซากเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ร้อยละ 65 อีกร้อยละ 35 เป็นประเภทแบตเตอรี่ หลอดไฟ ภาชนะบรรจุสารเคมี ระบบการจัดการที่มีอยู่ยังไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากทิ้งปนกับขยะทั่วไป ได้มอบหมายให้กรมอนามัยร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเร่งดำเนินการสร้างความปลอดภัยในเรื่องนี้ กล้าพูดความจริง(2557)

ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าการการใช้และการกำจัดภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายประเภทยาฆ่าแมลงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญ เพื่อส่งผลต่อความปลอดภัยด้านการใช้และการกำจัดยาฆ่าแมลง ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้และการกำจัดภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายประเภทยาฆ่าแมลงของประชาชนในพื้นที่เขตวัดสร้อยทองขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจในวิธีใช้สารเคมีกำจัดแมลง และกำจัดอย่างถูกต้องและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตได้

2. สมมติฐานในการวิจัย

1. ระดับการศึกษา อาชีพ และอายุ ที่แตกต่างกันจะมีพฤติกรรมการใช้และการกำจัด ภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายแตกต่างกัน

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาลักษณะทั่วไปของประชาชน สภาพสุขภาพจิต และสิ่งแวดล้อมของที่พักอาศัยในชุมชนพื้นที่รอบบริเวณวัดสร้อยทอง กรุงเทพมหานคร

2. เพื่อทราบความรู้ ทักษะ และพฤติกรรมการใช้และการกำจัด ภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลงของประชาชนในพื้นที่วัดสร้อยทอง กรุงเทพมหานคร

4. วิธีการดำเนินวิจัย

1. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าจากงานวิจัยที่มีลักษณะเดียวกันและจากแนวทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาประกอบกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยแบ่งองค์ประกอบของแบบสอบถามได้ 5 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามจะเป็นข้อมูลด้านสังคมประชากร

ส่วนที่ 2 แบบสอบถาม ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมที่ตั้งบ้านที่ตรงกับสภาพแวดล้อม ที่สามารถเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของชุมชนและสัตว์น้ำโรค ของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 3 การเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลง

ส่วนที่ 4 เป็นข้อคำถามใน 4 ประเด็นหลักคือ ทักษะคิดต่อการใช้ ความรู้ พฤติกรรมก่อนใช้และขณะใช้ในผลิตภัณฑ์หรือภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายประเภทยาฆ่าแมลง

ส่วนที่ 5 พฤติกรรมในการกำจัดภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายประเภทยาฆ่าแมลง ลักษณะแบบสอบถามเป็นเลือกตอบ 1 ข้อ

2. การเก็บข้อมูล

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ คนในเขตชุมชนโดยรอบวัดสร้อยทอง มีจำนวน 1,240 คน โดยได้สำรวจ เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2556

2.1 กลุ่มตัวอย่าง

ผู้ทำการวิจัยได้เก็บข้อมูลจากประชาชนในพื้นที่ทั้งหมดเป็นตัวอย่าง แต่ต้องได้ไม่น้อยกว่า 112 หลังคาเรือน โดยการสุ่มตามบุคคลในแต่ละหลังคาเรือนละ 2 คน ใช้วิธีหากลุ่มตัวอย่าง จากการคำนวณ ค่าจำนวนที่จะใช้ n จำนวนสูตร

$$\frac{[Z^2_{\alpha/2} Npq]}{Nd^2 + Z^2_{\alpha/2} pq}$$

N = จำนวนหน่วยประชากรที่ศึกษาทั้งหมด ชุมชนเขตวัดสร้อยทอง 1,000 คน

Z = กำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% ($Z_{\alpha/2} Z 0.05^2 = 1.96$)

p = 0.66 (โดยพบว่าสัดส่วนของประชาชนเพศหญิงจาก ทะเบียนราษฎร ในพื้นที่ที่ศึกษามีร้อยละ 66.6)

d = ความแม่นยำของการประมาณ ให้ผิดพลาดได้ ร้อยละ 5 ของสัดส่วนเพศ (Acceptable error = 0.05)

แทนค่าในสูตร ได้ ดังนี้

$$\frac{[1.96^2 \times 130 \times 0.666 \times 0.333]}{130 \times (0.05)^2 + 1.96^2 \times 0.666 \times 0.333}$$

ขนาดกลุ่มตัวอย่าง = 111.40 ตัวอย่าง

ผลการคำนวณได้ขนาดตัวอย่าง (Sample size) ที่เป็นประชากรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน ไม่น้อยกว่า 112 คน

2.2 การสุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยจะสุ่มหลังคาเรือนที่อยู่ในพื้นที่ที่ศึกษา โดยวิธีสุ่มแบบเป็นระบบ มา 120 หลังคาเรือนและเก็บตัวอย่างประชาชนจากทุกครัวเรือนครัวเรือนละ 1 คน ในแต่ละหลังคาเรือน ได้ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้น 224 ตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำแบบสอบถามทั้งหมด มาตรวจสอบความถูกต้องและความสมบูรณ์ของการตอบแบบสอบถาม และนำมาวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูปและใช้สถิติดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลส่วนบุคคล โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าสถิติเชิงพรรณนา

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านพฤติกรรมการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลงของประชาชน โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.3 การทดสอบสมมติฐาน โดยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลพื้นฐาน กับสภาพสุขภาพที่พ่อกาอาศัยและสิ่งแวดล้อมหาความสัมพันธ์ของข้อมูลพื้นฐานกับทัศนคติ หาความสัมพันธ์ของทัศนคติการใช้ ความรู้ กับพฤติกรรมก่อนใช้, ขณะใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงโดยใช้สถิติ โดยใช้ Chi-Square (χ^2) test และ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ เพียร์สัน ที่ระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ $\alpha = 0.05$

5. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาผู้วิจัยนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยเสนอผลของการวิจัยครั้งนี้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. คุณลักษณะส่วนบุคคล

เพศ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมาก ร้อยละ 53.6 อยู่ในกลุ่มเพศหญิงและร้อยละ 46.4 อยู่ในกลุ่มเพศชาย อายุ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมาก ร้อยละ 29.9 อยู่ในกลุ่มอายุ 45 ปีขึ้นไป รองลงมา ร้อยละ 18.3 คือกลุ่ม อายุ 40 – 44 ปี และร้อยละ 16.1 กลุ่มอายุน้อยกว่า 25 ปี ตามลำดับ

อาชีพ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนมาก ร้อยละ 57.6 มีอาชีพรับจ้าง รองลงมา ร้อยละ 14.7 ค้าขาย และร้อยละ 10.7 ประกอบธุรกิจส่วนตัว ตามลำดับ

รายได้ครอบครัวโดยเฉลี่ยต่อเดือน พบว่ากลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 32.1 รายได้ 6,600 – 9,500 บาท รองลงมา ร้อยละ 26.3 รายได้ 9,600 - 12,500 บาท และร้อยละ 24.6 รายได้ 12,600 บาทขึ้นไป ตามลำดับ

สถานภาพสมรส พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมาก ร้อยละ 53.1 สมรสแล้ว รองลงมา ร้อยละ 28.1 โสด และ ร้อยละ 12.9 มีสถานภาพหม้ายหรือหย่าร้าง ตามลำดับ

ระดับการศึกษา พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมาก ร้อยละ 40.6 จบการศึกษามัธยมศึกษา (รวม ปวช. ปวส.) รองลงมา ร้อยละ 25.9 ระดับประถมศึกษา และร้อยละ 18.3 ระดับปริญญาตรี ตามลำดับ

จำนวนสมาชิกในครอบครัว พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนมาก ร้อยละ 41.07 มีจำนวนสมาชิกในครอบครัว 7 คนขึ้นไป รองลงมา ร้อยละ 52.68 มีจำนวนสมาชิก 4 – 6 คน และร้อยละ 6.25 มีจำนวนสมาชิก 1-3 คน

2. ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม ของที่ตั้งบ้านเรือน

จากการศึกษา พบว่าสภาพสุขภาพที่พ่อกาอาศัยและสิ่งแวดล้อมของที่ตั้งบ้านเรือนที่พบมีที่ระบายน้ำเสียอยู่ใกล้ๆบ้าน, บริเวณบ้านขาดความสะอาดมีขยะมูลฝอย, อากาศในบ้านอับทึบ ไม่มีการถ่ายเท, ในบ้านและบริเวณบ้านมีแมลงสาบชุกชุมและมีกลิ่นเหม็นของขยะหรือน้ำครำไหลเข้ามา อยู่ในระดับปานกลาง และบริเวณบ้านมีน้ำท่วมขังหรือน้ำครำ, ซอกมุมบ้านอับหรือมีคทึบ (เช่น ตามซอกตู้ ใต้เตียง) และมีแสงสว่างส่องเข้ามาในบ้านไม่เพียงพอ อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง

3. การเลือกซื้อยาฆ่าแมลงของประชาชนในพื้นที่วัดสร้อยทอง กรุงเทพมหานคร

จากการศึกษา พบว่าการเลือกซื้อยาฆ่าแมลง 3 อันดับแรกคือตัวท่านเอง ร้อยละ 62.5 รองลงมาเป็นพ่อบ้าน ร้อยละ 19.2 และแม่บ้าน ร้อยละ 18.3 ตามลำดับ

ชนิดของยาฆ่าแมลงที่ท่านใช้ 3 อันดับแรกคือ ร้อยละ 70.1 เป็นของเหลวในภาชนะบรรจุพร้อมใช้ รองลงมา ร้อยละ 27.2 แท่ง-ขด และแบบผง ร้อยละ 2.7 ตามลำดับ

ใน 1 เดือนมีการซื้อยาฆ่าแมลงในลักษณะใด โดย 3 อันดับแรกคือ ของเหลวเป็นน้ำ คิดเป็นร้อยละ 83.9 รองลงมา เป็นแบบของแข็ง แท่ง-ขด คิดเป็น ร้อยละ 6.7 และใช้ทั้งของเหลวเป็นน้ำ และของแข็ง แท่ง – ขด ร้อยละ 9.4 ตามลำดับ

ผู้ตอบแบบสอบถามชอบยาฆ่าแมลงที่มีกลิ่นหอมหรือไม่ 3 อันดับแรก คือ ชอบ คิดเป็นร้อยละ 66.1 ไม่ชอบ คิดเป็น ร้อยละ 23.2 และ ชอบมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 10.7 ตามลำดับ

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่า ยี่ห้อที่ใช้อยู่ นั้นมีความปลอดภัยหรือไม่ 3 อันดับคือ การโฆษณาแนะนำ คิดเป็นร้อยละ 78.6 รองลงมา มีกลิ่นหอม คิดเป็นร้อยละ 3.1 และ ยี่ห้อของผลิตภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 1.8 ตามลำดับ

4. ระดับทัศนคติ ความรู้การใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลงของประชาชนในพื้นที่เขตวัดสร้อยทอง โดยเกณฑ์การชี้วัดแบ่งเป็น ระดับค่าเฉลี่ยมากกว่า 3.8 ขึ้นไป เท่ากับระดับดี ระดับค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 3.00-3.79 เท่ากับระดับปานกลาง และระดับค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3.00 เท่ากับระดับต่ำ

ระดับทัศนคติ พบว่า ยาฆ่าแมลงที่ดีต้องมีสารเคมีที่มีผล ต่อการฆ่าแมลงได้หลายประเภท, ในครัวเรือนของท่านควรมีการใช้พืชสมุนไพรเป็นสารป้องกันหรือกำจัดแมลง, ผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงการใช้และความปลอดภัยของผู้บริโภค, ราคา ยาฆ่าแมลงที่มีราคาแพงจะมีความปลอดภัยกว่ายาฆ่าแมลงที่มีราคาถูก อยู่ในระดับทัศนคติที่ระดับดี ยาฆ่าแมลงยี่ห้อที่มีราคาแพงจะต้องมีคุณภาพที่ดีกว่าชนิดถูก อยู่ในระดับปานกลาง และ ยาฆ่าแมลงจำเป็นต้องมีกลิ่นหอม อยู่ในระดับที่ต่ำหรือต้องปรับปรุง โดยภาพรวมวัดจากค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.93 อยู่ในระดับดี

ระดับความรู้ พบว่าการปฏิบัติและการระมัดระวังวิธีการเก็บและใช้ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายประเภทยาฆ่าแมลงอยู่ในระดับปานกลาง และความรู้เรื่องการกำจัดภาชนะบรรจุยาฆ่าแมลงและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอยู่ในระดับต่ำ โดยความรู้ที่ได้ค่าเฉลี่ยสูงสุด 3 อันดับคือ เรื่อง การรู้จักชนิดของยาฆ่าแมลง ($\bar{X} = 3.66$) ลำดับต่อมาวิธีการเก็บยาฆ่าแมลง ($\bar{X} = 3.50$) ลำดับที่ 3 คือ การรู้จักวิธีการระมัดระวังในการใช้ยาฆ่าแมลง ($\bar{X} = 3.39$) ส่วนความรู้ที่ได้ค่าเฉลี่ยต่ำสุด 3 อันดับคือ การอ่านฉลากหรือข้อบ่งชี้ด้านความปลอดภัย ($\bar{X} = 2.07$) ลำดับต่อมาความรู้เรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของยาฆ่าแมลง ($\bar{X} = 2.64$) ลำดับสุดท้าย การกำจัดภาชนะผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงที่ถูกต้องเหมาะสม ($\bar{X} = 2.48$) โดยวัดภาพรวมจากค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.02 อยู่ในระดับปานกลาง

5. พฤติกรรมการใช้และการกำจัด ผลิตภัณฑ์อันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลงของประชาชนในพื้นที่วัดสร้อยทอง กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 1 ระดับพฤติกรรมการปฏิบัติตนในการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายที่ใช้ในบ้านประเภทยาฆ่าแมลงของประชาชนในพื้นที่เขตวัดศรีอภัยทอง

การปฏิบัติตนในการใช้และการกำจัด	$\bar{X}$	ระดับพฤติกรรม
ก่อนใช้	3.98	ระดับดี
ขณะใช้	3.19	ระดับปานกลาง
การกำจัด	3.69	ระดับดี
พฤติกรรมเฉลี่ยโดยรวม (SD)	3.62 (0.379)	ระดับปานกลาง

เมื่อวิเคราะห์รายละเอียดพฤติกรรมการใช้และการกำจัดผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายประเภทยาฆ่าแมลง โดยแบ่ง พฤติกรรมการปฏิบัติแบ่งเป็น 3 พฤติกรรม คือ ก่อนใช้ ขณะใช้ และการกำจัด

ก่อนใช้ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ก่อนการใช้ผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงมีการตรวจสอบชนิดสารที่จะใช้และผลข้างเคียงของอาการที่เกิดจากชนิดของสารนั้น อยู่ในระดับดี และก่อนใช้ยาฆ่าแมลงมีการเลือกชนิดยาตามที่เจ้าหน้าที่แนะนำหรือฉลากระบุ, ควบคุมอายุของยาฆ่าแมลง, และจะทำกาพ่นยาฆ่าแมลงทันทีโดยไม่ปกปิดอาหารและสถานที่เตรียมอาหาร อยู่ในระดับปานกลาง โดยภาพรวม ก่อนใช้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.98 อยู่ในระดับดี

ขณะใช้ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เมื่อฉีดยาป้องกันกำจัดยุงและแมลงสาบจะรีบออกจากบริเวณนั้นทันที อยู่ในระดับดี ส่วนการจุดยากันยุง (แบบจุด) จะทำการจุดไว้ตลอดคืนและก่อนใช้ยากันยุงชนิดทา จะทาบางๆ ที่หลังฝ่ามือคูก่อนจะแพ้สารนั้น อยู่ในระดับ ปานกลาง และบริเวณที่พกอาศัยจะมียาฆ่าแมลงที่สามารถฆ่าแมลงสาบได้ทุกชนิดและมีฤทธิ์ทนนานไว้ใช้กำจัดแมลงทุกชนิดในบ้าน, ระหว่างพ่นยาชนิดพ่นไม่มีการใช้ผ้าปิดปากอยู่ในระดับที่ต่ำหรือต้องปรับปรุง โดยภาพรวม ขณะใช้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.190 อยู่ในระดับปานกลาง

การกำจัด พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีการคัดแยกขยะก่อนการกำจัดบางส่วนนำไปเผาทำลาย, ขายให้คนรับซื้อของเก่าและทิ้งไว้บริเวณบ้าน อยู่ในระดับดี มีบางครัวเรือนนำไปฝังกลบอยู่ในระดับที่ต่ำ โดยภาพรวม การกำจัดมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 3.69 อยู่ในระดับดี

ตารางที่ 2 การหาค่าความสัมพันธ์ ระหว่างลักษณะทางประชากรสภาพแวดล้อม ของที่อยู่อาศัย ความรู้ และทัศนคติต่อพฤติกรรมการใช้และการกำจัดภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงของชุมชนวัดสร้อยทอง

ลักษณะของประชากร	χ^2	df	r	p-value
เพศ	0.113	1	-	0.737
อายุ	-	-	0.086	0.202
อาชีพ	3.775	2	-	0.151
สถานภาพการสมรส	3.248	2	-	0.197
รายได้	-	-	-0.03	0.970
สภาพแวดล้อม	-	-	0.066	0.322
ความรู้	-	-	0.001	0.991
ทัศนคติ	-	-	0.552	0.001

การหาค่าความสัมพันธ์ ระหว่างลักษณะทางประชากรสภาพแวดล้อม ของที่อยู่อาศัย ความรู้ และทัศนคติต่อพฤติกรรมการใช้และการกำจัดภาชนะบรรจุผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงของชุมชนวัดสร้อยทอง

ผลการศึกษาพบว่า มีเพียงปัจจัยเดียวที่มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้และการกำจัด ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายคือ ทัศนคติ ($r = 0.552$ $P\text{-value} = 0.001$) ส่วนตัวแปรด้านเพศ อายุ อาชีพ สถานภาพสมรส รายได้ สภาพแวดล้อมของที่พักโดยรวม และความรู้ ไม่พบที่มีความสัมพันธ์ กับพฤติกรรมการใช้และการกำจัด ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตราย จากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ทัศนคติของประชาชนต่อพฤติกรรมการใช้ยาฆ่าแมลงมีทัศนคติในภาพรวมอยู่ในระดับปานกลางและพฤติกรรมในการใช้ยาฆ่าแมลงก็มีอยู่ในระดับ ปานกลาง เช่นเดียวกัน ซึ่งในระดับดังกล่าวนี้ เป็นระดับที่ควรมีการปรับปรุงแนวคิด การปฏิบัติในประเด็นดังกล่าวให้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการปฏิบัติต่อการใช้ สารเคมีโดยตรงเพราะ ผลการศึกษาพบว่า ทัศนคติ กับพฤติกรรม เกี่ยวกับการใช้สารเคมี มีความสัมพันธ์ กันในระดับค่อนข้างสูง มีระดับนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.552$ $P\text{-value} = 0.001$)

6. อภิปรายผล

ผลการศึกษาพบว่า มีเพียงปัจจัยเดียวที่มีความสัมพันธ์ คือพฤติกรรมการใช้และการกำจัด ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายคือ ระดับ ทัศนคติ ($r = 0.552$ $P\text{-value} = 0.001$) ส่วนด้านเพศ อายุ อาชีพ สถานภาพสมรส รายได้ สภาพแวดล้อมของที่พักโดยรวม และความรู้ ไม่พบที่มีความสัมพันธ์ กับพฤติกรรมการใช้และการกำจัด ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตราย

จากผลการศึกษาดังกล่าวได้ว่า ทัศนคติของประชาชนต่อพฤติกรรมการใช้ยาฆ่าแมลงมีทัศนคติในภาพรวมอยู่ในระดับ ปานกลางและพฤติกรรมในการใช้ยาฆ่าแมลงก็มีอยู่ใน ระดับ ปานกลาง เช่นเดียวกัน ซึ่งในระดับดังกล่าวนี้ เป็นระดับที่ควรมีการปรับปรุงแนวคิด การปฏิบัติในประเด็นดังกล่าวให้ดีขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อการปฏิบัติต่อการใช้ สารเคมีโดยตรงเพราะ ผลการศึกษาพบว่า ทัศนคติ กับพฤติกรรม เกี่ยวกับการใช้สารเคมี มีความสัมพันธ์ กันในระดับค่อนข้างสูง อยู่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = 0.552$ $P\text{-value} = 0.001$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยประสิทธิภาพทางชีววิทยาของผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงของ พรรณเกษม (2547) พบว่าประชาชนส่วน

ใหญ่รู้จักวิธีการใช้ยาฆ่าแมลงภายในบ้านแต่ไม่รู้วิธีการกำจัดที่ถูกต้องวิธีโดยส่วนใหญ่จะนำไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไป และคิดว่าไม่มีผลต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ทิ้งไม่ได้มีการฝังหรือขำรด จากผลการศึกษาพบว่าผู้ตอบแบบสอบถามเลือกซื้อผลิตภัณฑ์จากทางสื่อโฆษณา สอดคล้องกับงานวิจัยของวรรณย์พันธ์ (2549) พบว่าลูกค้าจะซื้อผลิตภัณฑ์ยาฆ่าแมลงในบ้านโดยดูจากสื่อโฆษณาทางโทรทัศน์โดยจะซื้อเมื่อมีการออกผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ มีกลิ่นหอมเวลาใช้งานและราคาถูก

8. รายการอ้างอิง

กล้าพูดความจริง.(2557). สถานการณ์ขยะของไทย วิฤตติยะ 26 ล้านตัน กำจัดได้อย่างถูกต้อง 7.2 ล้านตัน.

www.thaipublica.org

ดวงใจ ดวงทิพย์. 2543. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้สารเคมีอันตรายในครัวเรือน ของผู้บริโภคตำบล

เวียง อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประครอง สายจันทร์. 2547. การสร้างกระบวนการเรียนรู้ผลิตภัณฑ์วัตถุอันตรายในอาคารบารเรือนในระดับ

ชุมชนกรณีศึกษา: บ้านค้อหวาง หมู่ที่ 3 ตำบลคูเมือง อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี. สถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน (องค์การมหาชน) กระทรวงการพัฒนาสังคมและความมั่นคงของมนุษย์.

ปิติพันธุ์ สุปัญญาณ์. 2549. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้ยาฆ่าแมลง. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

พรรณเกษม แผ่พร. 2547. ประสิทธิภาพทางชีววิเคราะห์ของผลิตภัณฑ์ยาจุดกันยุง.วารสารวิชาการสาธารณสุข ปีที่ 13:327-331

วรรณย์พันธ์ จารุพันธ์. 2549. พฤติกรรมการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษา กรมควบคุม

มลพิษ.สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Judith K. Bass, Luis Ortega, Cecilia Rosales. 2001. What's being used at home : a household pesticide survey. Public Health .

**การกำหนดปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสมโดยใช้การสร้างแบบจำลอง
กรณีศึกษาธุรกิจนำเข้าสารทำความเย็น
OPTIMIZING THE SAFETY STOCK INVENTORY LEVEL USING
SIMULATION MODEL: A CASE STUDY REFRIGERANT BUSINESS**

ศิริรัตน์ ต้นตระกูล

คณะวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ สาขาวิชาโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Email: is_may@hotmail.com

ดร.ธนา สุขวาริ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Email: thana.su@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ เนื่องจากการจัดการปัจจุบันกับการกำหนดระดับปริมาณสินค้าคงคลังโดยประสบการณ์และการคาดเดาทำให้มีค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ, การจัดเก็บและยังเสียค่าใช้จ่ายในกรณีสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการลูกค้า จึงได้ทำการวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันแล้วประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์ เพื่อหาค่าระดับปริมาณสินค้าที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณสินค้าที่สนใจคือกำหนดปริมาณสินค้าสำรอง โดยการดำเนินงานประกอบด้วย วิเคราะห์ แบบ ABC เพื่อคัดเลือกสินค้าที่มีรายการจำนวนมากและมีความสำคัญที่สุด และคำนวณหาค่าของตัวแปรที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ ได้แก่ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด, จุดสั่งซื้อที่เหมาะสมและปริมาณสินค้าสำรอง ผลจากการดำเนินงานได้ HCFC-22 เป็นสินค้าที่มีความสำคัญที่สุด และเมื่อนำไปทดสอบในสถานการณ์ดังนี้ (1) จำลองการดำเนินงานปัจจุบัน (2) จำลองสถานการณ์ที่ปรับปรุงและทดลองกำหนดปริมาณสินค้าสำรองที่คาดว่าจะเหมาะกับธุรกิจเทียบกับค่าที่คำนวณได้พบว่าสถานการณ์ที่ได้ปรับปรุงแล้วและมีกำหนดปริมาณสินค้าสำรองที่ประมาณ 50 ตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณและค่าจุดสั่งซื้อเท่ากับ 36 ตัน และปริมาณสินค้าสูงสุดในคลังเท่ากับ 72 ตัน ตามระบบงานปัจจุบัน และผลของค่าใช้จ่ายรวมลดลงจากปัจจุบัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสถานการณ์ที่ปรับปรุงให้มีการกำหนดปริมาณสำรองนั้นดีกว่าการบริหารจัดการในปัจจุบัน

คำสำคัญ : สินค้าสำรองที่เหมาะสม, การจำลองสถานการณ์, โปรแกรม ARENA

ABSTRACT

The purpose of this research is to study and apply simulation program in inventory management due to unskillful or experienced practice and prediction presently on stock inventory level, which are caused to an

ordering cost, carrying cost or even opportunity cost if product could not be served as customer needed. After analyzing situation, the simulation has been applied to find optimized stock inventory level and intriguing result is to specify safety stock significantly. The proceeding are including with ABC analyzing for high volume items and level of significance, and calculating variables for the simulation following EOQ (Economic Order Quantity), ROP (Reorder Point) and level of Safety Stock. The result has shown that HCFC-22 is the most level of significance when testing in these situations (1) simulation of current circumstance (2) simulation of adjusted safety stock supposes to be appropriate with business. The improved situation has got 50 tons of safety stock (less than the past), ROP is 36 tons and maximum stock is 72 tons according to administrative company, so the total cost will be decreasing finally. As a result, we could summarize that the improved situation by specifying safety stock is better than currently managing ones.

KEYWORD: Safety Stock Optimization, Simulation, Arena Software

1. บทนำ

การบริหารสินค้าคงคลังที่เหมาะสม ควรรักษาระดับปริมาณสินค้าคงคลังที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและมีการจัดการต้นทุนรวมสินค้าให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ด้วยการจัดการบริหารสินค้าคงคลัง จะประกอบด้วยการควบคุมปริมาณสินค้าคงคลังอันเกิดจากกิจกรรมและการกำหนดปริมาณที่เหมาะสมตามนี้ คือ ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม, จุดการสั่งซื้อใหม่ที่เหมาะสมและปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสม ซึ่งโดยรวม เมื่อได้ปฏิบัติตามที่ได้กล่าวข้างต้นก็สามารถบริหารให้มีต้นทุนรวมสินค้าที่เหมาะสมได้ด้วย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการบริหารสินค้าคงคลังของธุรกิจนำเข้าสารทำความเย็น ซึ่งพบว่าการจัดการภายในบริษัทมีปัญหาการบริหารสินค้าคงคลังอยู่ 2 ลักษณะ คือ สินค้าที่มีไม่เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า และระดับสินค้าคงคลังคงค้างในคลังมากจนอาจจะทำให้สินค้าเสื่อมคุณภาพ

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาระบบการบริหารสินค้าคงคลังและหลังจากนั้นได้นำแนวทางการบริหารสินค้าคงคลังที่เหมาะสม ที่ว่าด้วยการกำหนดปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสมมาแก้ไขปัญหให้กับบริษัท โดยการนำการประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ เพื่อหาค่าระดับปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสม ซึ่งได้การสร้างสถานการณ์จำลองปัจจุบันและจำลองสถานการณ์ที่ปรับปรุงใหม่ และทำการสรุปการเปรียบเทียบผลสถานการณ์ปัจจุบันกับแนวทางใหม่ที่ได้ปรับปรุงพร้อมทั้งการทดสอบปรับระดับปริมาณสินค้าสำรองเพื่อความเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อหาแนวทางให้การแก้ไขปัญหและปรับปรุงการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง โดยมุ่งเน้นตามเรื่องตามนี้ ได้ปรับปรุงระบบงานและพัฒนาต้นแบบสินค้าคงคลังที่เหมาะสมด้วยการกำหนดปริมาณ สินค้าสำรองที่เหมาะสม ซึ่งได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ของโปรแกรมอรินา ในการทดสอบจำลองสถานการณ์และกำหนดปริมาณสินค้าสำรองเพื่อความเหมาะสม แล้วสรุปผลทำเป็นข้อมูลสนับสนุนเพื่อการกำหนดนโยบายการบริหารสินค้าคงคลังและต้นทุนของสินค้าคงคลัง

สมมุติฐานในงานวิจัย เป็นการจำลองสถานการณ์ว่าด้วยระบบงานในปัจจุบันเปรียบเทียบกับระบบงานใหม่และการกำหนดปริมาณสินค้าสำรองให้แตกต่างกัน

สถานการณ์ที่ 1 ปริมาณสินค้าสำรอง กับระบบงานปัจจุบัน

สถานการณ์ที่ 2 ปริมาณสินค้าสำรอง เท่ากับ ปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสม

สถานการณ์ที่ 3 ปริมาณสินค้าสำรอง มากกว่า ปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสม

สถานการณ์ที่ 4 ปริมาณสินค้าสำรอง น้อยกว่า ปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสม

สถานการณ์ที่ 5 กำหนดค่าตัวแปรของปริมาณสินค้าสำรองและจุดสั่งซื้อใหม่

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สินค้าคงคลัง หมายถึง สินค้าหรือวัสดุที่เก็บไว้เพื่อการใช้งานหรือจำหน่ายในอนาคตโดยทั่วไปสินค้าคงเหลือที่เก็บไว้ในองค์กรหรือหน่วยงาน ซึ่งควรมีการบริหารจัดการที่เหมาะสม ประกอบด้วย การควบคุมสินค้าคงเหลือ โดยที่มีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ เพื่อให้ต้นทุนในการเก็บสินค้าต่ำสุดและ เพื่อให้ลูกค้าหรือผู้รับบริการเกิดความพึงพอใจมากที่สุด ดังนั้นต้องหาจำนวนสั่งซื้อที่เหมาะสมและเวลาในการสั่งซื้อที่เหมาะสม

การจำลองสถานการณ์ เป็นการดำเนินการออกแบบกระบวนการทดสอบเพื่อเรียนรู้พฤติกรรมการทำงานในระบบจริง ภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ เพื่อประเมินการดำเนินงานของระบบ และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริงต่อไป สำหรับโปรแกรมที่จำลองแบบปัญหาด้วยคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้โปรแกรมหนึ่งคือโปรแกรมอารีนา ซึ่งสามารถที่จะสร้างภาพเคลื่อนไหวได้ เช่น เครื่องจักรรถบรรทุก สายพานลำเลียง คนงาน โดยสามารถแสดงสถานะของทรัพยากรได้ ด้วย วางงาน ทำงาน หรือหยุด พร้อมทั้งสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในแต่ละกิจกรรม

ในการศึกษา การกำหนดปริมาณการสำรองอะไหล่ของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อการกำหนดปริมาณการสำรองอะไหล่ของเครื่องจักรที่เหมาะสม โดยใช้ทฤษฎีหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม และทฤษฎีจุดสั่งซื้อใหม่ในการกำหนดหาปริมาณการสำรองได้เหมาะสม ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ และสินค้ามีเพียงพอต่อความต้องการแล้วทำการสรุปกำหนดปริมาณสำรองโดยวิธีใหม่และเก่า ผลที่ได้จากการคำนวณวิธีการใหม่จะพิจารณาสินค้าแต่ละชนิด ซึ่งจะทำให้มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการแบบเก่า 667,556.75 บาท หรือลดลง 12.01% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

ในการศึกษา กลยุทธ์การลดต้นทุนสินค้าคงคลังเชิงบูรณาการ กรณีศึกษา บริษัท บุญถาวรเชรามิก จำกัด เพื่อพัฒนาและปรับปรุงระบบการสั่งซื้อสินค้า ระบบการจัดการสินค้าคงคลังให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งการวางแผนทางและกำหนดกลยุทธ์การเพิ่มยอดขายสินค้าเพื่อเป็นการระบายสินค้าคงคลัง วิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ทฤษฎีแผนผังกวางปลาในการวิเคราะห์ปัญหา และการนำหลักการคำนวณเพื่อปรับปรุงระดับปริมาณของสินค้าคงคลังจากระบบเดิม มาจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรมอารีนาในการนำเสนอทางเลือกโดยกำหนดสูตรการคำนวณออกเป็น 4 แบบ พร้อมทั้งใช้ ทฤษฎี SWOT Analysis และ TOWS Matrix ซึ่งเป็นทฤษฎีด้านการตลาด มาใช้ในการช่วยการวางแผนกลยุทธ์ด้านระบายสินค้า หรือ เป็นแผนการตลาด ผลที่ได้จากการวิจัย ค่าคำนวณการสั่งซื้อสินค้าในปริมาณที่เหมาะสมจากการจำลองสถานการณ์ ทำให้ลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้อย่างมีประสิทธิภาพและผล

จากการสำรวจพฤติกรรมการเลือกซื้อสินค้าของลูกค้า กับสินค้าตัวอย่างประเภทวัสดุอุปกรณ์ ทำให้สามารถกำหนดกลยุทธ์การเพิ่มยอดขายสินค้า

สรุปจากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้แนวความคิดที่นำไปโปรแกรมจำลองมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคือการทดสอบวิธีคิดแก้ไขในขณะที่ไม่กระทบกับระบบงานจริงหรือต้องหยุดการทำงานหรือมีค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการแก้ไขปัญหา โดยที่ต้องออกแบบจำลองสถานการณ์ให้เทียบเท่ากับสถานการณ์จริงและสถานการณ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

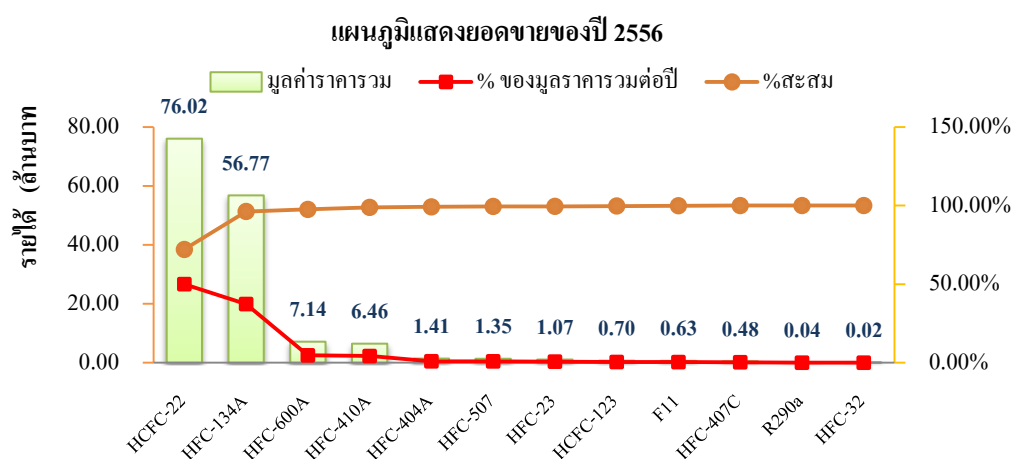
3. วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 ศึกษาปัญหาของการบริหารจัดการสินค้าคงคลังและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

3.2 รวบรวมข้อมูลเพื่อให้ในงานวิจัย

3.3 นำข้อมูลทำการวิเคราะห์ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์ ABC Classification System พิจารณาปริมาณและมูลค่าของสินค้าคงคลังแต่ละรายการเป็นเกณฑ์ ซึ่งได้กำหนดระดับของความสำคัญของสินค้าแต่ละชนิดตามมาตรฐานออกเป็น 3 ระดับ คือ Class A, Class B และ Class C ตามลำดับ ซึ่งได้ผลตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิการแบ่งประเภทสินค้าคงคลัง

จากการใช้ทฤษฎีการจัดกลุ่ม ABC แล้ว สินค้าที่อยู่ในกลุ่มที่สำคัญ คือ HCFC-22 เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีความต้องการตลอดทั้งปีมากที่สุดจึงได้จัดทำข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์ในการหาต้นแบบการจัดการสินค้าคงคลัง

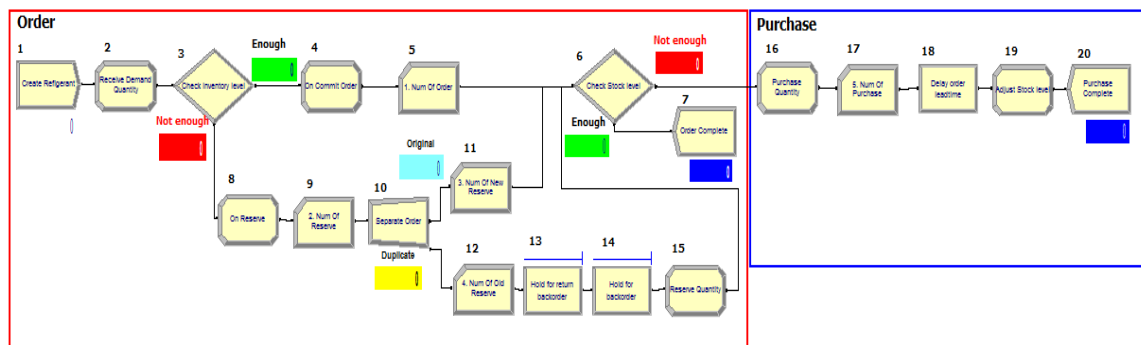
ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการวิเคราะห์ต่อจากการได้สินค้าที่มีระดับความสำคัญ ใน Class A เรียบร้อยแล้วทำการคำนวณค่าปริมาณสั่งซื้อที่เหมาะสม, จุดสั่งซื้อใหม่, ปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสม โดยให้การออกแบบตามนโยบายสินค้าคงคลัง (s,S) และการคำนวณต้นทุนรวมของสินค้า พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับระบบทำงานปัจจุบันและระบบทำงานที่เป็นแบบการคำนวณได้ผลตามตารางที่ 1

	การสั่งซื้อ		ระดับปริมาณสินค้าคงคลัง					
	แบบปัจจุบัน	แบบ EOQ	แบบปัจจุบัน			แบบ ROP		
			Min	Mid	Max	Min	Mid	Max
ราคาต่อหน่วย (บาท/ISO)	990,000	990,000						
ปริมาณการสั่งซื้อ/ครั้ง	0.8	11.7						
จำนวนการสั่งซื้อครั้ง/ปี	102	6						
มูลค่าในการสั่งซื้อ (บาท)	80,784,000.00	69,498,000.00						
ค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บ (บาท)	2,019,600.00	6,660,225.00						
ค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อ (บาท)	27,010,416.00	22,566,552.00						
รวมค่าใช้จ่ายต่อปี (บาท)	109,814,016.00	98,724,777.00						
จำนวนสำรองสินค้า	-	-	0	3	4	10.4	13.5	14
ส่วนต่าง	-	(11,089,239.00)	-	-	-	(10.4)	(10.5)	(10)

จากตารางที่ 1 พบว่าการสั่งซื้อแบบ EOQ จะลดต้นทุนรวมต่อปีได้จาก 109,814,016 บาท เหลือ 98,724,777 บาท สามารถลดต้นทุนรวมได้ 11,089,239 บาท โดยที่มาของการลดมาจากการปริมาณการสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นและรอบการสั่งซื้อลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อรวมต่อปีจาก 27,010,416 บาท เหลือ 22,566,522 บาท แต่ในค่าใช้จ่ายในส่วนของการจัดเก็บรวมต่อปีเพิ่มจากเดิม 2,019,600 บาท เป็น 6,660,225 บาท ในส่วนของปริมาณสินค้าคงคลัง แบบปัจจุบัน และแบบ ROP มีปริมาณของสินค้าที่เพิ่มสำรองจาก 0 หน่วย (ISO) เป็น 10.4 หน่วย (ISO) และจุดการสั่งซื้อใหม่เพิ่มจาก 3 หน่วย (ISO) เป็น 13.5 หน่วย (ISO)

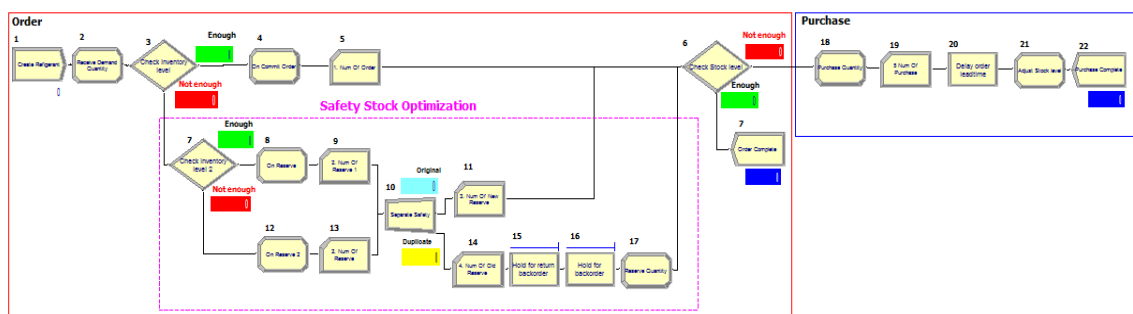
สรุปผลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมเท่ากับ 11.7 ISO หรือเท่ากับ 210.06 หน่วย (ตัน), ปริมาณสินค้าสำรอง หรือ ค่า Min (Safety Stock) เท่ากับ 10.4 ISO หรือ เท่ากับ 182.7 หน่วย (ตัน), จุดสั่งซื้อสินค้าใหม่ หรือ ค่า Mid (Reorder Point) เท่ากับ 13.5 ISO หรือ เท่ากับ 243 หน่วย (ตัน) และสินค้าคงคลังสูงสุด หรือ ค่า Max เท่ากับ 14 ISO หรือ 252 หน่วย (ตัน) จากผลการคำนวณนี้จะนำไปใช้เป็นตัวแปรในการจำลองสถานการณ์ โดยมีค่าตัวแปร ที่สนใจคือค่าของปริมาณสินค้าสำรอง

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ออกแบบจำลองสถานการณ์ วิเคราะห์จากกระบวนการทำงานในแต่ละส่วนงาน โดยแสดงผลเป็นผังการทำงาน สร้างแบบจำลองตามกระบวนการทำงานและสร้างตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยใช้โปรแกรม อารินาและกำหนดตัวแปรที่มีผลกับสถานการณ์



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันจำลอง ระบบงาน (ปัจจุบัน)

จากภาพที่ 2 ฟังก์ชันจำลองระบบงาน (ปัจจุบัน) โดยในส่วนของการจำลองจะมี 2 ส่วนงานคืองานส่วนการขาย (Order) และส่วนการสั่งซื้อ (Purchase) โดยในระบบงานปัจจุบัน นั้นมีการขั้นตอนการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง เมื่อมีการตัดขายให้ลูกค้าได้จนถึงระดับต่ำของคลังหรือจุดสั่งซื้อซึ่งเท่ากับ 3 ISO จะทำการสั่งซื้อสินค้าใหม่เพื่อการเติมเต็มและในกรณีที่สินค้าไม่เพียงพอให้ลูกค้าจะมีการสั่งจองล่วงหน้าโดยจะเรียงลำดับเป็นแบบ First-In First-Out หรือมาก่อนได้รับก่อน ด้วยปัญหาตามที่ได้อธิบายข้างต้นในตารางที่ 1 ที่ปริมาณการขายและปริมาณสั่งซื้อไม่สอดคล้องกันจึงนำแนวทางของการจัดการสินค้าคงคลังให้มีการสำรองสินค้าเป็นรองรับปัญหาปริมาณสินค้าคงคลังพร้อมทั้งควบคุมต้นทุนรวมของสินค้าคงคลัง



ภาพที่ 3 ฟังก์ชันจำลอง ระบบงาน (ใหม่)

จากภาพที่ 3 ฟังก์ชันจำลองระบบงาน (ใหม่) โดยเริ่มตั้งแต่การรับคำสั่งจากลูกค้า แล้วทำการตรวจสอบปริมาณสินค้าคงคลังมีเพียงพอต่อการนำส่งหรือไม่ ถ้าเพียงพอจะทำงานในส่วนของการจัดการออเดอร์ (Sub Book Order) นั้นให้กับลูกค้า และถ้าไม่เพียงพอจะเข้าทำงานในส่วนของการนำสินค้าที่ได้กันไว้เพื่อใช้สำรองความต้องการของลูกค้า (Sub Request Safety) เมื่อทำการนำส่งสินค้าให้กับลูกค้าแล้ว จะต้องทำการปรับปรุงสินค้าคงคลัง และตรวจสอบระดับปริมาณสินค้าเพื่อทำการสั่งซื้อสินค้ามาเติมให้คลังสินค้า (Sub Purchase) โดยที่ระบบภายในจะมีการคำนวณต้นทุนรวมของการจัดการสินค้าคงคลัง อาทิ เช่น ต้นทุนการจัดเก็บ, ต้นทุนการสั่งซื้อ และต้นทุนเสียโอกาส เป็นต้น

ผู้วิจัยทำการกำหนดตัวแปรเพื่อทำการกำหนดสินค้าคงคลังในปริมาณที่เหมาะสม ดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ	ความหมาย
Max Inventory (sMax)	จำนวน Stock สูงสุดที่ควรจะมีเก็บ
Min Stock (sMin)	จำนวน Stock ขั้นต่ำที่ควรจะมีเก็บหรือจุดสั่งซื้อใหม่ (Reorder Point)
Safety Stock (SS)	จำนวนสินค้าคงคลังสำรอง
ตัวแปรอิสระ	ความหมาย
Demand	ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าโดยเฉลี่ยของลูกค้าภายใน 1 เดือน
Inventory (inv)	จำนวนสินค้าคงคลังที่เหลืออยู่ในปัจจุบัน
onhand	จำนวนสินค้าคงคลังที่คงเหลือในปัจจุบันรวมกับจำนวนสินค้าสำรอง
Max Inventory (sMax)	จำนวน Stock สูงสุดที่ควรจะมีเก็บ
Lead Time	ช่วงเวลานำ/ช่วงเวลาดำเนินการมีค่าเท่ากับ 15 วัน
Product Cost	990,000 บาท/หน่วย (ISO)
Order Cost	ต้นทุนการสั่งซื้อ ประกอบด้วย ต้นทุนคงที่ 8,200 บาท/ครั้ง รวมกับ ต้นทุนแปรผัน 32,000 บาท/ISO หรือประมาณ 3.24% บาท/ครั้ง
Holding Cost	15% ของสินค้า/ปีต่อ/หน่วย (ISO)
Lost per unit	ต้นทุนค่าเสียโอกาสต่อหน่วย (KG) กำหนดให้เท่ากับราคาขาย
Unit Price	ราคาขาย หน่วย (KG) หรือเท่ากับ 67 บาท/หน่วย (KG)
ตัวแปรตาม	ความหมาย
Inventory (inv Value)	ระดับสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยที่เก็บ
Lost Cost	ต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดขึ้น
Order Cost	ต้นทุนการสั่งซื้อที่เกิดขึ้น
Holding Cost	ต้นทุนจัดเก็บที่เกิดขึ้น
Total Cost	ต้นทุนรวมที่เกิดขึ้น

4. ผลการดำเนินงาน

Scenario Properties				Controls					Responses					
S	Name	Program File	Reps	prm_demand	inv	safety	smin	smax	inv Value	1.Product Cost	2.Order Cost	3.Lost Cost	4.Holding Cost	5.Grand Total Cost
1	Scenario 1	16 : SIM-OLD-001	10	6.0680	0.0000	---	36.0000	72.0000	0.287	14850.000	49203.499	37861.700	186.624	102101.823
2	Scenario 2	7 : SIM-New-004	10	6.0680	0.0000	182.7000	243.0000	252.0000	212.857	14136.100	11488.327	0.000	50.325	25674.752
3	Scenario 3	7 : SIM-New-004	10	6.0680	0.0000	200.0000	243.0000	252.0000	230.157	13860.000	8208.165	0.000	52.920	22121.085
4	Scenario 4	7 : SIM-New-004	10	6.0680	0.0000	50.0000	243.0000	252.0000	85.810	60967.500	101692.630	0.000	117.495	162777.625
5	Scenario 5	7 : SIM-New-004	10	6.0680	0.0000	50.0000	36.0000	72.0000	7.790	6479.000	17223.700	0.000	16.590	23719.290

ภาพที่ 5 ส่วนของจำลองสถานการณ์ โดยกำหนดค่า ที่แตกต่างกันตามสถานการณ์

จากภาพที่ 5 ผลลัพธ์ของค่าสถานการณ์ทั้ง 5 สถานการณ์ สามารถสรุปได้ตามนี้

1. เปรียบเทียบสถานการณ์ที่ 1 ซึ่งเป็นระบบงานปัจจุบันสถานการณ์ที่ 2,3,4 และ 5 ที่เป็นระบบงานใหม่ที่มีสินค้าสำรองมาใช้ในการบริหารสินค้าคงคลังพบว่า ส่วนของ Lost Cost หรือต้นทุนการเสียโอกาสของ

ระบบงานใหม่ลดลงเหลือ 0 บาท จากที่มีโอกาสเสีย 37,861.7 บาท ทำให้การมีสินค้าสำรองดีกว่าไม่การสินค้าสำรอง แต่ก็ยังไม่ได้ทำให้ต้นทุนสินค้าต่ำเพราะปริมาณสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ยจะต่ำกว่าสถานการณ์ระบบใหม่ ส่งผลให้ต้นทุนการจัดเก็บต่ำตามที่สินค้าคงเหลือในคลัง

2. สถานการณ์ที่ 2,3 และ 4 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบจากปรับค่าของปริมาณสินค้าสำรองที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าปริมาณสินค้าสำรองสูงกว่าที่ตามระดับที่ได้คำนวณมาจะให้ผลต้นทุนรวมสินค้าต่ำสุด คือ สถานการณ์ที่ 3 มีต้นทุนรวม 162,777.625 บาท มีระดับปริมาณสินค้าคงคลังโดยเฉลี่ย 85.81 ตัน

3. จากการสร้างสถานการณ์ที่ 2,3 และ 4 พบว่ายังมีค่าบางส่วนที่ยังไม่สามารถทำให้ต้นทุนที่เหมาะสมเท่าที่ควร ด้วยค่าของต้นทุนต่างๆ ยังไม่ลดเมื่อเทียบกับระบบงานปัจจุบัน จึงได้ทดสอบปรับค่าของ safety เท่ากับ สถานการณ์ที่ 4 เพราะต้องการระดับสินค้าคงคลังอยู่ในระดับที่ไม่สูงจนเกินไป และปรับค่า s_{min} เท่ากับ สถานการณ์ที่ 1 ในระบบงานปัจจุบันเพราะต้องการให้ระดับการสั่งใหม่เมื่อปริมาณสินค้าลดลงถึงระดับนี้ ทำให้ต้นทุนการเสียโอกาสไม่เพิ่มขึ้น, ต้นทุนการจัดเก็บไม่สูง และต้นทุนรวมลดลงจากการใช้ค่าตัวแปรที่กำหนดใน สถานการณ์ที่ 2, 3 และ 4

5. สรุปผลและอภิปรายผลวิจัย

สรุปผลวิจัย การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อทดสอบสมมติฐานจากการจำลองสถานการณ์ของระบบการทำงานปัจจุบันกับระบบการทำงานใหม่ เพื่อหาค่าระดับปริมาณสินค้าที่เหมาะสม ซึ่งปริมาณสินค้าที่สนใจคือกำหนดปริมาณสินค้าสำรอง โดยที่ค่าตัวแปรนี้จะถูกกำหนดเป็นค่าตัวแปรในการตัดสินใจในแบบสถานการณ์จำลองและกำหนดให้มีปริมาณสินค้าสำรองที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยทำการรวบรวมข้อมูลย้อนหลังของบริษัทเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์และคำนวณทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาสินค้าที่สนใจและค่าปริมาณสินค้าสำรอง หลังจากนั้นได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอริโน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของแต่ละสถานการณ์ที่ได้ออกแบบจำลองไว้ ผลจากการวิเคราะห์ พบว่าสินค้า HCFC-22 ที่ได้ทำคัดเลือกจากการแบ่งกลุ่มสินค้าที่มีความสำคัญด้วยมูลค่าการจำหน่ายที่สูง และการผลการคำนวณปริมาณสินค้าสำรองที่เหมาะสมเท่ากับ 182.7 ตัน ซึ่งได้กำหนดเป็นค่าระดับปริมาณสินค้าสำรองกลางและปรับค่าปริมาณตามสมมติฐานของสถานการณ์จำลอง ทำให้ผลของเปรียบเทียบผลทุกสถานการณ์ที่ได้กำหนดปริมาณการสำรองสินค้าที่แตกต่างกัน สิ่งที่ได้ส่วนของต้นทุนรวมของแบบสถานการณ์ที่มีการกำหนดสินค้าสำรองทำให้ต้นทุนรวมลดลง และจากการวิเคราะห์ในรายละเอียดโดยแยกตามประเภทต้นทุนและปริมาณสินค้าคงคลังเฉลี่ยซึ่งให้ค่าที่แตกต่างกันในสถานการณ์ที่ 2,3 และ 4 ทำให้ผู้วิจัยเลือกปรับปริมาณตัวแปรอื่นๆ ตามสถานการณ์ที่ 5 ตามภาพที่ 5 ดังนี้ คือ กำหนดปริมาณสินค้าสำรองที่ประมาณ 50 ตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่คำนวณและค่าจุดสั่งซื้อเท่ากับ 36 ตัน และปริมาณสินค้าสูงสุดในคลังเท่ากับ 72 ตัน ตามระบบงานปัจจุบัน และผลของค่าใช้จ่ายรวมลดลงจากปัจจุบัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสถานการณ์ที่ปรับปรุงให้มีการกำหนดปริมาณสำรองนั้นดีกว่าการบริหารจัดการในปัจจุบัน

อภิปรายผลวิจัย จากการที่ได้จำลองสถานการณ์เพื่อพัฒนาเป็นต้นแบบของการบริหารสินค้าคงคลัง ได้ผลว่าควรที่จะมีการกำหนดสินค้าสำรองในธุรกิจ ด้วยการกำหนดปริมาณสำรองควรสำรองในระดับเท่าใดสามารถนำแบบจำลองระบบงานใหม่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลของแบบจำลองนั้นสามารถนำมาเป็นข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดนโยบายการบริหารสินค้าคงคลังและการบริหารต้นทุนสินค้าได้

6. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้พบว่า กระบวนการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ยังคงต้องเพิ่มกระบวนการเพิ่มความละเอียดของการจัดการสินค้าคงคลัง รวมถึงกระบวนการผลิตและการขนส่งในการทดลองต่อไป เนื่องจากงานวิจัยได้ออกแบบเป็นต้นแบบสินค้าคงคลังเท่านั้น ซึ่งสามารถนำความรู้และนำแนวความคิดไปประยุกต์เพื่อปรับปรุงให้งานบริหารสินค้าคงคลังมีความสมบูรณ์มากกว่านี้ได้

7. รายการอ้างอิง

- สุพจน์ เหล่างาม และธนัญญา วสุศรี. 2550. การปรับปรุงการเติมเต็มคำสั่งซื้อด้วยแบบจำลองกระบวนการธุรกิจ
กรณีศึกษา บริษัทอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย. วิจัยโครงการเฉพาะเรื่อง สาขาการจัดการ
โลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สรวิศ รัตนพิไชย. 2550. การปรับปรุงกระบวนการจัดซื้อหาพัสดุโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ กรณีศึกษา
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. งานวิจัยโครงการเฉพาะเรื่อง สาขาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย
การจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อนุรักษ์ คัมมาตย์. 2551. การกำหนดปริมาณการสำรองอะไหล่ของเครื่องจักร ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์
กรณีศึกษา บริษัท เอ็น เอช เค สปริง (ประเทศไทย) จำกัด. วิทยานิพนธ์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ภมรสา ทรัพย์เพ็ญภพ. 2551. กลยุทธ์การลดต้นทุนสินค้าคงคลังเชิงบูรณาการ กรณีศึกษาบริษัท บุญถาวรเชรามิก
จำกัด. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- ลือเดช ฤาไกรศรี. 2551. กระบวนการปรับปรุงการสืบทอดโดยวิธีการ Simulation เพื่อลดปัญหาการรอคิวของ
รถบรรทุกเข้าเปลือก ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง สาขาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- รุ่งรัตน์ ภิรัชเพ็ญ. 2553. คู่มือสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Arena (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร:
ซีเอ็ดยูเคชั่น
- วรารักษ์ หัตถกิจ. 2554. การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสินค้าคงคลังและการวางแผนการขาย กรณีศึกษา TGC
จำกัด. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง สาขาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- จิราภรณ์ แซ่ลิ้ม. 2554. การประยุกต์ใช้แบบจำลองและอัลกอริทึมพันธุกรรมเพื่อบริหารสินค้าคงคลังที่มีความ
ต้องการไม่แน่นอน กรณีศึกษาผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์. วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรม
อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- พัฒน์พงษ์ น้อยนวล และธนัญญา วสุศรี. 2555. การปรับปรุงกระบวนการขนส่งภายในคลังสินค้าโดยใช้แบบจำลอง
สถานการณ์ กรณีศึกษา อุตสาหกรรมน้ำตาล. วิจัยโครงการเฉพาะเรื่อง สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์
บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

การควบคุมคุณภาพเตาถ่าน กรณีศึกษา : โรงงานเตาถ่าน คำปิ่นปิ่นเตา
A QUALITY CONTROL OF CHARCOAL STOVE: A CASE STUDY OF
KAMPUN PUNTAL CHARCOAL STOVE FACTORY

ศุภชัย จันทร์งาม

อาจารย์ หมวดวิชาศึกษาทั่วไป คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชธานี

E-mail : Supachai.C@rtu.ac.th

ดำรงศักดิ์ อรัญกุล

อาจารย์ ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชธานี

E-mail : Damrongsak.A@rtu.ac.th

กชรัตน์ จันทร์งาม

อาจารย์ สาขาวิชาภาษาและวรรณคดีตะวันตก คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

E-mail : Kotcharat_C@ubu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาระบบการควบคุมคุณภาพ กรณีศึกษา : โรงงานเตาถ่าน คำปิ่นปิ่นเตา โดยทำการศึกษาปัญหาทางด้านคุณภาพรวมทั้งเสนอแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเตาถ่าน จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ของเสียที่เกิดขึ้นคือ เตาถ่านแตก เตาถ่านมีรอยร้าวที่ผนัง และบิ่นขอบ โดยของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดก็คือ เตาถ่านมีรอยร้าวที่ผนัง คิดเป็นร้อยละ 1.75 จึงได้ทำการแก้ไขปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพ เช่น แผนภาพพาเรโต แผนผังก้างปลา และแผนภูมิควบคุม ผลการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียลดลงเหลือร้อยละ 0.99 คิดเป็นร้อยละสะสมที่ลดลงได้ถึง 43.43

คำสำคัญ : การควบคุมคุณภาพ เตาถ่าน ใ้บตรวจสอบ แผนผังก้างปลา แผนภาพพาเรโต

ABSTRACT

This research presented the quality control of Charcoal Stove, a case study of Kampun Puntao Stove Factory. The purpose was to improve the quality of product and reduce its proportion of defect. The preliminary data collection showed that the defect occurring during the production process included broken charcoal stove, cracks on charcoal stove, charcoal stove chipped edges. As the cracks on charcoal stove (1.75%) were found most often, some quality control tools such as Pareto chart, fishbone diagram and control chart were needed to

improve its quality. After employing such tools, the proportion of defect was reduced to 0.99 or decreased 43.43%

KEYWORDS: Quality Control, Check Sheet, Fishbone Diagram, Pareto Diagram, Charcoal Stove

1. บทนำ

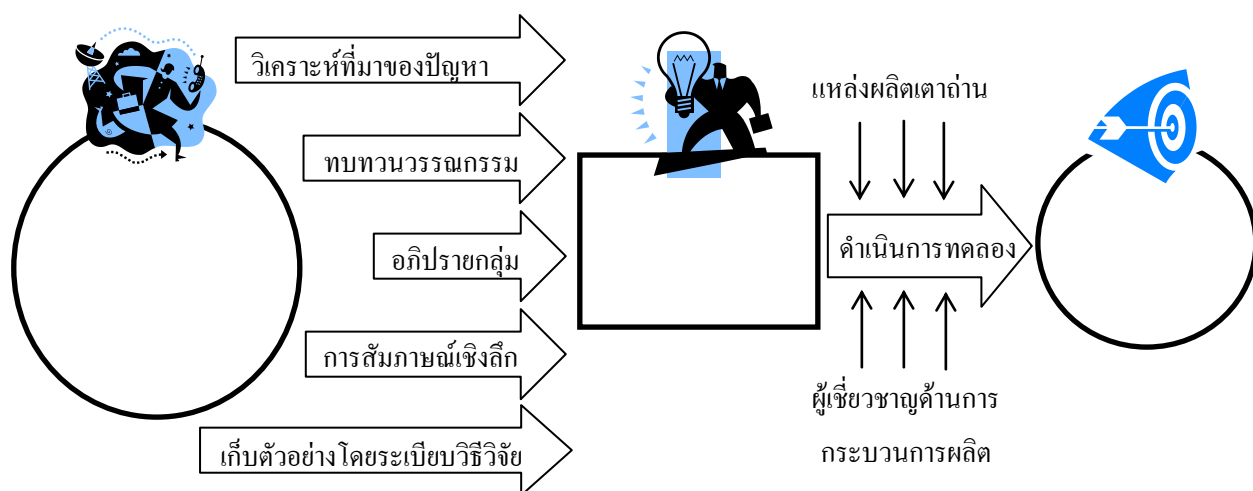
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตได้เติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากลูกค้าบริโภคสินค้าและบริการจากบริษัทผู้ผลิตที่หลากหลาย ดังนั้นผู้ผลิตในแต่ละบริษัทจึงให้ความสำคัญกับคำว่า “คุณภาพ” ของสินค้าและบริการของตน เป็นการสร้างจุดเด่นให้กับสินค้าอีกทั้งเป็นการสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าอีกทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้การแข่งขันในแต่ละบริษัทจึงได้เกิดขึ้นอย่างมากมายในปัจจุบัน ซึ่งปัญหาของการที่สินค้าไม่มีคุณภาพนั้นมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย อาทิเช่น วัตถุดิบที่นำเข้ามาทำการผลิตไม่ได้คุณภาพ เครื่องจักรที่ทำการผลิตเกิดการเสื่อมสภาพจากการใช้งาน พนักงานขาดประสิทธิภาพทำงาน ภัยธรรมชาติ ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมาล้วนแต่เป็นปัญหาที่สำคัญ ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจประเภทไหนก็ตามผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องทำการควบคุมและปรับปรุงคุณภาพของสินค้า เพื่อให้ตรงตามความต้องการและความพึงพอใจของลูกค้า

จากที่กล่าวมาผู้วิจัยได้เข้าไปศึกษากระบวนการผลิตเตาถ่านของโรงงานเตาถ่านคำปิ่นปิ่นเตา ซึ่งมีปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตค่อนข้างสูงส่งผลกระทบต่อความเสียหายเชิงมูลค่าโดยตรง (นิวิท, 2547) มีสาเหตุหลักมาจากการที่ต้องทำงานแข่งกับเวลาเพื่อเร่งให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพครบตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ จึงก่อให้เกิดความเสียหายแก่สินค้าขึ้น เช่น การแตกร้าวของตัวเตาขณะตากแดด ซึ่งทำให้เกิดผลเสียอย่างมากต่อกระบวนการผลิตในแง่ของปริมาณและเวลาที่ใช้ในการผลิตที่ต้องคอยมาทำการคัดแยกของเสียทิ้งไป ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต และทำการปรับปรุงปัจจัยได้อย่างเหมาะสม (จุฑา, 2552)

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตเตาถ่านที่จะส่งผลทำให้ของเสียมีปริมาณลดลง

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

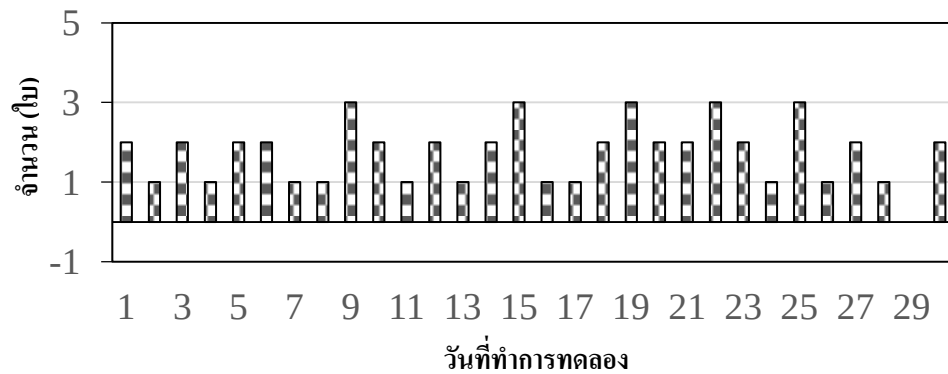
4. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการด้านการควบคุมคุณภาพ (ยฺทฐ, 2548) โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การกำหนดปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต และการทดลองเพื่อลดระดับปัจจัย (จักรินทร์, 2556) ซึ่งเป็นการทดลองภายหลังจากที่ทราบปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของเสีย ขั้นนี้จะมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตอันจะนำไปสู่การลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และทั้งนี้ในการทดลองดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือที่สำคัญด้านการควบคุมคุณภาพ (กิตติศักดิ์, 2550) มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหา เช่น แผนภาพพาเรโต แผนผังก้างปลา และแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (P-chart) เป็นต้น (ณัฐพร, 2551)

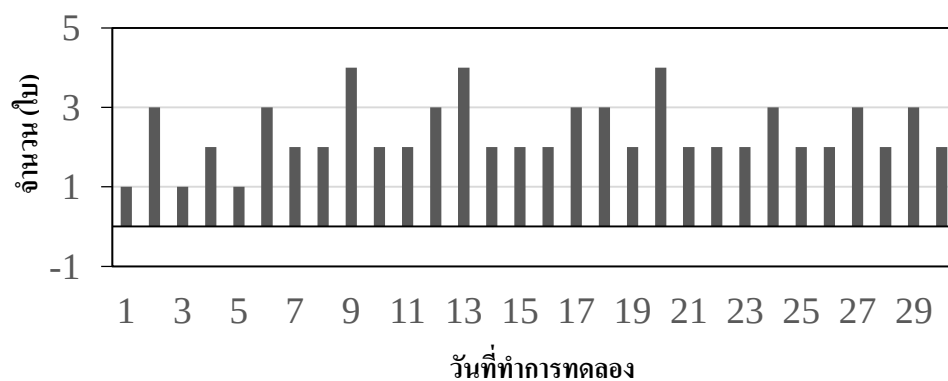
5. ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตเตาถ่านทำให้สามารถกำหนดปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิต เพื่อใช้ในการทดลองตามที่ได้กล่าวมานั้น ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

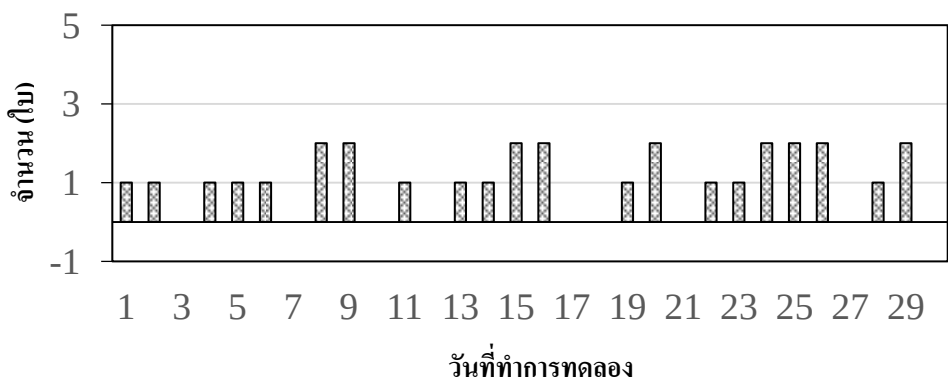
5.1 การกำหนดปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2 แสดงจำนวนเตาที่แตกในแต่ละวัน



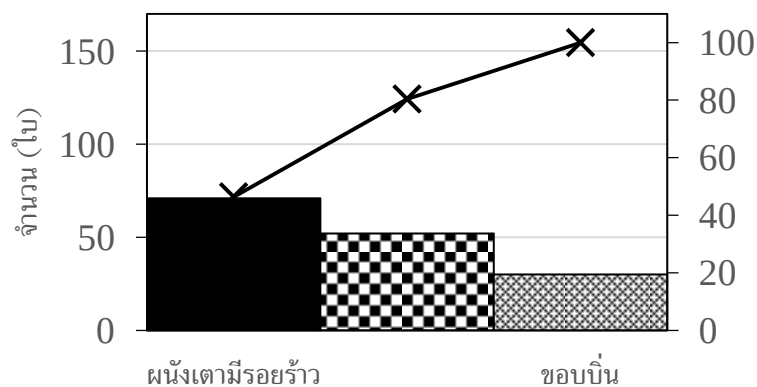
ภาพที่ 3 แสดงจำนวนเตาที่มีผนังเตามีรอยร้าวในแต่ละวัน



ภาพที่ 4 แสดงจำนวนเตาที่ขอบบิ่นในแต่ละวัน

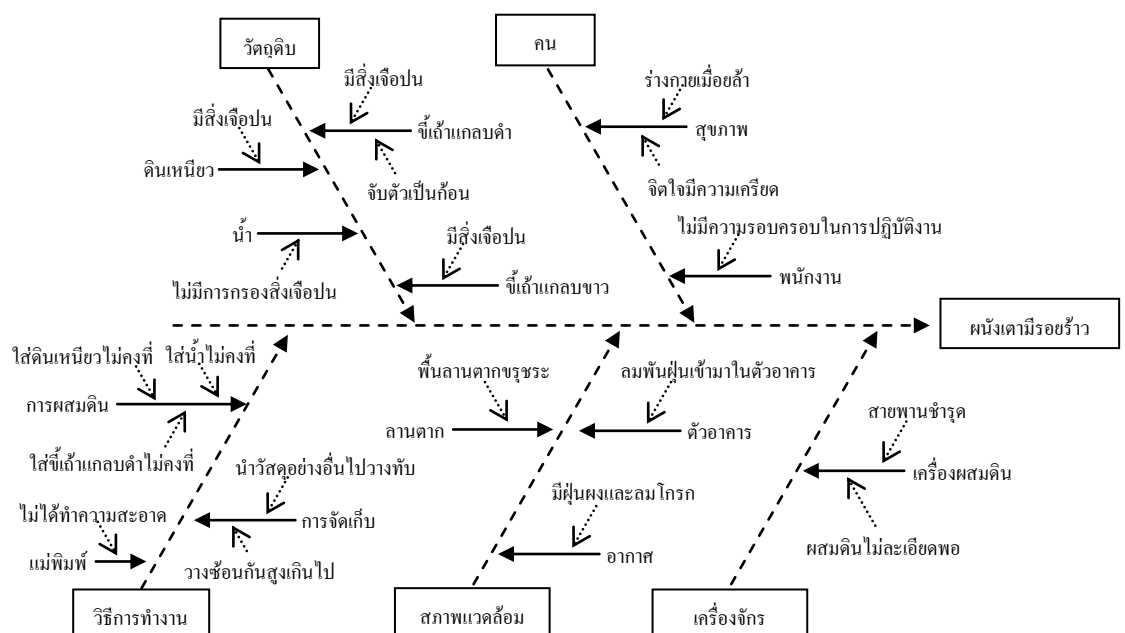
เมื่อทำการศึกษาข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ พบว่า จากผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ทั้งสิ้นจำนวน 4,062 ใบ มีปริมาณของเสียที่พบในกระบวนการผลิตทั้งสิ้นจำนวน 153 ใบ คิดเป็นร้อยละ 3.77 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ โดยมีลักษณะการเสียที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อยู่ 3 ลักษณะ คือ เตาเกิดการแตก เตามีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตา และเตาเกิดการบิ่นที่ขอบ โดยสามารถจำแนกตามลักษณะได้ดังนี้ เตาที่เกิดการแตก

มีจำนวน 52 ใบ คิดเป็นร้อยละ 1.28 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ เตามีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตา มีจำนวน 71 ใบ คิดเป็นร้อยละ 1.75 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ และเตาที่เกิดการบิ่นที่ขอบ มีจำนวน 30 ใบ คิดเป็นร้อยละ 0.74 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของของเสียด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่าลักษณะที่ก่อความเสียหายให้กับผลิตภัณฑ์มากที่สุด คือ เตามีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตา ดังแสดงในภาพที่ 5



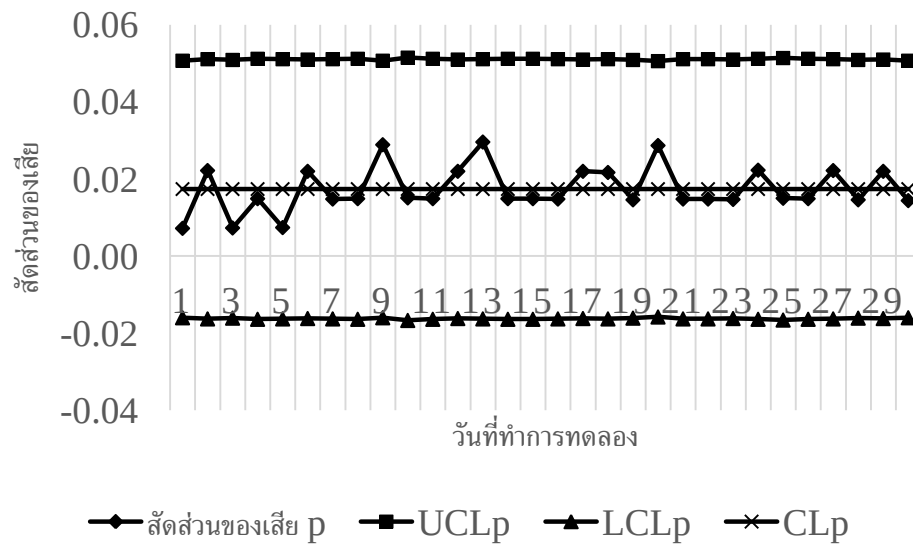
ภาพที่ 5 แสดงแผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นของเสีย

ทำการกำหนดปัจจัยในงานวิจัยครั้งนี้โดยการระดมสมองของคณะผู้วิจัย จากนั้นใช้แผนผังก้างปลา มาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งพิจารณาสาเหตุที่ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะคุณภาพของปัญหาที่สนใจศึกษา จัดกลุ่มของสาเหตุความเป็นไปได้ตามหลัก 8M เครื่องจักร วัตถุดิบ วิธีการทำงาน และสภาพแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงแผนผังก้างปลาที่มาของสาเหตุของปัญหาเตาด่านมีรอยร้าวที่ผนัง

จากแผนผังก้างปลา สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่สำคัญซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อลักษณะคุณภาพของปัญหาที่น่าสนใจ คือ อัตราส่วนของวัตถุดิบที่ผสมกันนั้น ไม่ได้มาตรฐาน หลังจากวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนผังก้างปลาแล้ว ในลำดับต่อไปทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย P-Chat ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 7

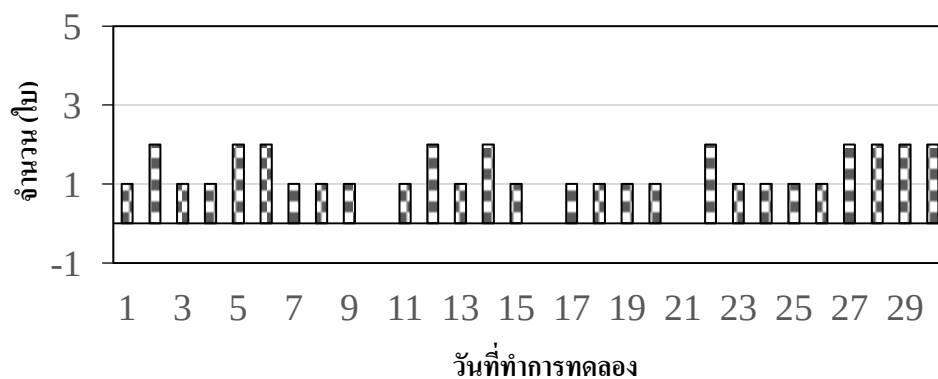


ภาพที่ 7 แสดงแผนภูมิ P-Chart สัดส่วนของเสีย (ก่อนการปรับปรุง)

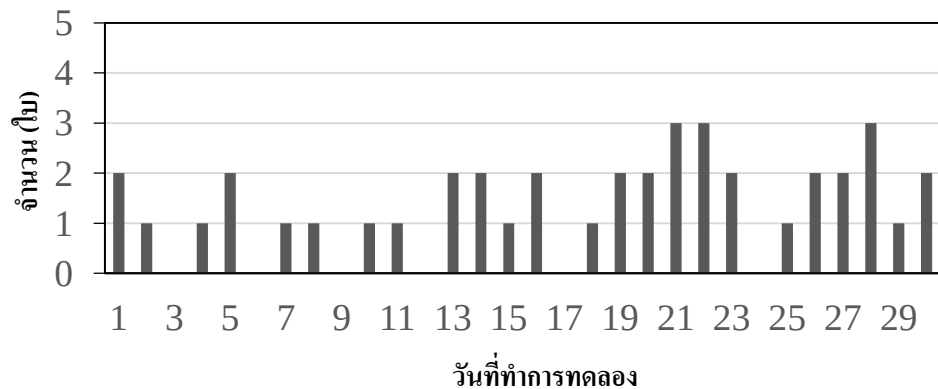
จากแผนภูมิพบว่าไม่มีข้อมูลชุดใดออกนอกเขตควบคุมเลย ซึ่งถือว่ากระบวนการผลิตอยู่ในกระบวนการที่ดีในระดับหนึ่งเห็นได้จากการเรียงตัวกันของชุดข้อมูล กล่าวคือจุดอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุม

5.2 การทดลองเพื่อลดระดับปัจจัย

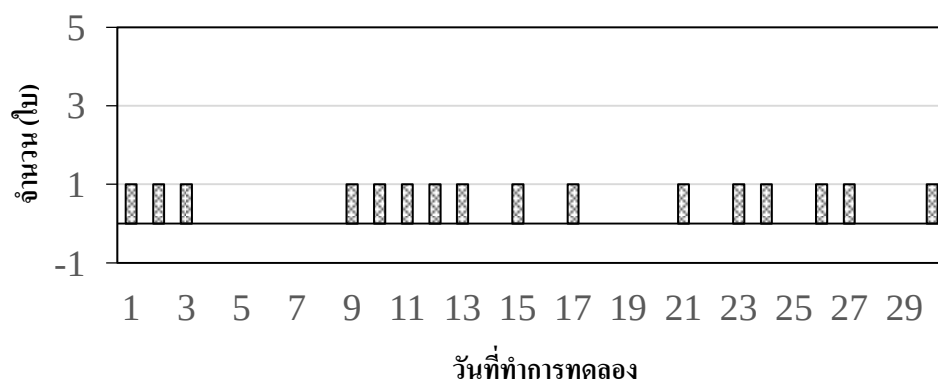
หลังจากที่ทราบสาเหตุของของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตก็ทำการทดลองเพื่อลดระดับปัจจัย โดยเลือกใช้วิธีการปรับปรุงอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ ซึ่งสำหรับโรงงานผลิตเตาถ่านคำปิ่นปิ่นเดิมมีอัตราส่วนผสมวัตถุดิบที่ดีที่สุด คือ 1: 2 ส่วน (ดินเหนียว 1 ส่วนผสมกับขี้เถ้าเกลบดำ 2 ส่วน) และได้ผลการทดลองดังนี้



ภาพที่ 8 แสดงจำนวนเตาที่แตกในแต่ละวัน (หลังการปรับปรุง)

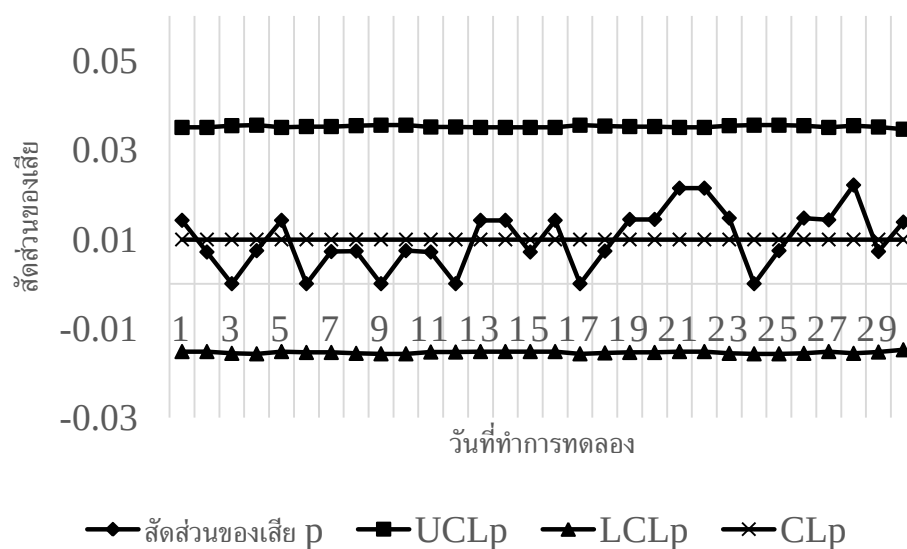


ภาพที่ 9 แสดงจำนวนเตาที่มีผนังเตามีรอยร้าวในแต่ละวัน (หลังการปรับปรุง)



ภาพที่ 10 แสดงจำนวนเตาที่ขอบบิ่นในแต่ละวัน

ผลการทดลองพบว่า จำนวนผลิตภัณฑ์ที่สามารถผลิตได้ทั้งสิ้นจำนวน 4,143 ใบ มีปริมาณของเสียที่พบในกระบวนการผลิตทั้งสิ้นจำนวน 94 ใบ คิดเป็นร้อยละ 2.26 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ โดยจำแนกตามลักษณะที่เสีย ได้ดังนี้ เตาที่เกิดการแตกมีจำนวน 37 ใบ คิดเป็นร้อยละ 0.89 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ เตาที่มีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตามีจำนวน 41 ใบ คิดเป็นร้อยละ 0.99 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ และเตาที่เกิดการบิ่นที่ขอบมีจำนวน 16 ใบ คิดเป็นร้อยละ 0.38 จากจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตได้ จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย P-Chat ซึ่งได้ผลการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงแผนภูมิ P-Chart สัดส่วนของเสีย (หลังการปรับปรุง)

จากแผนภูมิแสดงสัดส่วนของเสีย พบว่า หลังการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเตาถ่าน ปรากฏว่า กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้การควบคุม เห็นได้จากกราฟที่ไม่มีข้อมูลชุดใดอยู่นอกเขตควบคุม ซึ่งหมายความว่า กระบวนการควบคุมปริมาณของเสียสามารถควบคุมปริมาณของเสียได้ในระดับที่ดี และสามารถนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นอีกได้ในโอกาสต่อไป

6. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายมากที่สุด คือ เตามีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตา โดยก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีผลิตภัณฑ์เตาถ่านที่มีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตาคิดเป็นร้อยละ 1.75 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4,062 ใบ หลังจากผ่านการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่า มีผลิตภัณฑ์เตาถ่านที่มีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผนังเตาคิดเป็นร้อยละ 0.99 จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 4,141 ใบ สามารถลดปริมาณของเสียได้ถึงร้อยละ 0.76 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียที่เกิดจากการผลิตเตาถ่าน

ลักษณะของเสีย	ข้อมูล	จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ถูกตรวจสอบ (ใบ)	จำนวนของเสีย (ใบ)	ร้อยละ	ร้อยละที่ลดลง
เตามีรอยร้าว	ก่อนการปรับปรุง	4,062	71	1.75	
เกิดขึ้นที่ผนังเตา	หลังการปรับปรุง	4,141	41	0.99	43.43

จากตารางที่ 1 พบว่าปริมาณของเสียลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการปรับปรุงส่วนผสมของดินในอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 1 : 2 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตเตาด่านคำปิ่นปิ่นเตา

7. ข้อเสนอแนะ

โรงงานควรปรับปรุงในเรื่องกระบวนการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการหาสถานที่เก็บวัตถุดิบที่เป็นสัดส่วน การทำความสะอาดแม่พิมพ์ รวมถึงการผสมวัตถุดิบในอัตราส่วนที่คงที่ ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีต่อลักษณะความเสียหายของเตาด่าน

8. รายการอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2550). **หลักการควบคุมคุณภาพ**. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

จักรินทร์ กลั่นเงิน. (2556). **การลดของเสียในกระบวนการผลิตเส้นโมโนด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง**.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จุฬา พิชิตคำเค็ญ. (2552). **การศึกษาปัจจัยเพื่อลดของเสียที่กระบวนการบรรจุและผนึกของเกลือแร่ชนิดผงด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ : สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่ง

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐพร วงศ์ทัญญู. (2551). **การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตแก้วคริสตัล**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ

มหาวิทยาลัย ภาควิชาการจัดการวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

นิวิธ เจริญใจ. (2547). **การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา**. มหาวิทยาลัยขอนแก่น : หน่วยสารบรรณงานบริหาร และธุรการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ยุทธ ไกยวรรณ. (2548). **การควบคุมคุณภาพ**. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในสถานพยาบาล

กรณีศึกษาโรงพยาบาลพญาไท 2

STUDY OF ENERGY CONSUMPTION FACTORS IN HOSPITAL BUILDING

A CASE STUDY OF PHYATHAI 2 HOSPITAL

ธีรพงศ์ หอสิวลัย

นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : Teerapong.ho@hotmail.com

อมตะ ทศนภักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : ammata.tu@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ที่มา

อาคารโรงพยาบาลพญาไท 2 มีเตียงจดทะเบียน 260 เตียง ซึ่งประกอบด้วยอาคารหลักจำนวน 2 อาคาร และอาคารลานจอดรถ 2 อาคาร การใช้ไฟฟ้าจะรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวงโดย อาคาร 1 และอาคาร 2 ใช้หม้อแปลงอาคารละ 2 ชุด ชุดละ 2,000 kVA ด้านการใช้เชื้อเพลิงมีการใช้แก๊ส LPG สำหรับการทำน้ำร้อนให้กับอาคาร 2 และใช้น้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีการใช้พลังงาน เฉลี่ย 42,878,039.45 MJ/ปี (ข้อมูลการใช้พลังงานรายวัน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2556 ถึง 31 ธันวาคม 2556)

ผลการวิจัยข้อมูลการใช้พลังงาน โดยวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาค่าความสัมพันธ์การใช้พลังงานต่อปัจจัยภายนอก อาทิเช่น ปริมาณคนไข้ใน ปริมาณคนไข้นอก อุณหภูมิภายนอกอาคาร ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกอาคาร และพื้นที่ปรับอากาศ พบว่า การใช้พลังงานมีแนวโน้มสูงเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง (Pearson Coefficient = 0.635) จากการศึกษาดัชนีการใช้พลังงานต่อจำนวนคนไข้ในที่ใช้ทั่วไปในกลุ่มโรงพยาบาล พบว่ามีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานน้อย (Pearson Coefficient = 0.245) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ซึ่งสมการในการพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลพญาไท 2 สมการนี้สามารถพยากรณ์ได้แม่นยำได้ร้อยละ 65.2% ของการใช้พลังงานรายวันโรงพยาบาลพญาไท 2

คำสำคัญ : ดัชนีการใช้พลังงาน การจัดการพลังงาน ดีกรีเดย์

ABSTRACT

There are 260 registered beds in Phyathai 2 Hospital buildings which include 2 main buildings and car park buildings .According to electricity consumption, it is supplied by the Metropolitan Electricity Authority,

The Building No.1 and No.2 are used 2 transformers which supply 2,000 KVA/set. On the other hand it is used LPG to boil water in building No.2 and diesel for generator. Future more the annual average energy consumption is 42,878,039.45 MJ/Year that refer to daily energy consumption report form 1 Jan 2013 to 31 Dec 2013.

Energy consumption research result by regression method to determine the relation between energy consumption and external parameters which inpatient number, OPD number, degree day, humidity, air condition area the result is heat high energy consumption will direct vary with high degree day value (Pearson Coefficient = 0.635). Moreover the study of energy consumption index per inpatient number using in hospital group show that it is less influenced (Pearson Coefficient = 0.245) which is statistic significantly 0.05, The new regression which applied to energy consumption of Phyathai 2 Hospital. This regression equation can predict daily energy consumption with 65.2 % accuracy.

KEY WORDS : SEC, Specific Energy Consumption Index, Degree Day

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

จากแนวโน้มของราคาเชื้อเพลิงที่ยังคงอยู่ในอัตราสูงและมีแนวโน้มที่จะสูงเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต จากสถิติปี 2556 พบว่าโดยรวมมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและส่งผลกระทบต่อทุกภาคส่วนของธุรกิจในประเทศต้องให้ความสำคัญในเรื่องการอนุรักษ์และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ภาคอาคารธุรกิจและการค้า-การบริการถือเป็นภาคเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “อาคารประเภทโรงพยาบาล” ซึ่งถือได้ว่าเป็นอาคารที่ใช้พลังงานค่อนข้างสูงเป็นลำดับต้นของกลุ่มอาคารธุรกิจ เนื่องจากมีการให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง และมีการใช้พลังงานเพื่อตอบสนองต่อกิจกรรมการให้บริการทางการแพทย์ตลอดเวลา จากการสำรวจพบว่าอาคารประเภทโรงพยาบาล ยังมีศักยภาพที่จะดำเนินการเรื่องการอนุรักษ์พลังงานได้ นอกจากนี้ทางอาคารเองก็ให้ความสำคัญและมีความพร้อมในการผลักดันให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างจริงจัง เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจากการวิเคราะห์ปัญหาด้านการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานพบประเด็นปัญหาสำคัญคือ การเลือกใช้ดัชนีการใช้พลังงาน(SEC: Specific Energy Consumption) ที่เหมาะสมกับอาคารประเภทโรงพยาบาล ที่ผ่านมานั้นการหาค่า SEC ของโรงพยาบาลในกลุ่มเครือโรงพยาบาล จะใช้ดัชนีการพลังงานไฟฟ้าเทียบกับปริมาณพื้นที่ปรับอากาศมาเปรียบเทียบกับกัน ซึ่งอาจจะทำให้ค่า SEC ที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง เพราะอาคารโรงพยาบาลมีปัจจัยอื่นๆ อีกหลายส่วนที่ควรจะนำมาวิเคราะห์เกี่ยวกับการใช้พลังงาน [ดำรงศักดิ์ การะเกษ, 2549]

บทความนี้รายงานผลการศึกษาจากการวิเคราะห์อิทธิพลที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การหาค่าดัชนีที่สะท้อนให้เห็นถึงปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการใช้พลังงานอย่างแท้จริง นอกเหนือจากค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหัวคนไข้ในตามที่กฎหมายด้านการอนุรักษ์พลังงานกำหนด และเป็นแนวทางให้กับอาคาร โรงพยาบาลอื่นๆ ในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาพการใช้พลังงานในโรงพยาบาล
2. เพื่อหาอิทธิพลที่มีผลต่อการใช้พลังงานในโรงพยาบาล
3. เพื่อหาสมการพยากรณ์การใช้พลังงานที่เหมาะสมและมีความแม่นยำรวมไปถึงสัมพันธ์กับปัจจัยต่างๆ ที่หลากหลายของโรงพยาบาล

กรอบแนวคิดและทฤษฎี

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร โดยคำนึงว่าข้อมูลของตัวแปรแต่ละชนิดนั้นมีความสัมพันธ์กันหรือไม่ ขนาดและทิศทางของความสัมพันธ์เป็นอย่างไร โดยไม่จำเป็นต้องทราบว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรตาม ซึ่งค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ซึ่งสถิติสำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้แบบใดนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลายประการ ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัว (Bivariate Correlation) บางครั้งเราเรียกว่าตัวแปรอิสระว่า ตัวแปรทำนาย (Predictor variable) และเรียกตัวแปรอีกตัวว่าตัวแปร เกณฑ์ (Criterion variable) (Diekhoff, 1992 : 211) ซึ่งโดยปกติจะเป็นตัวแปรตาม อย่างไรก็ตามการที่จะทราบว่าตัวแปรทำนายตัวแปรใดเป็นตัวแปรเกณฑ์ ขึ้นอยู่กับงานวิจัยนั้นๆ ในการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ถ้าหากทั้งสองตัวแปรมีการวัดการวัดอันดับ (Interval Scale) หรืออัตราส่วน (Ratio scale) จะเรียกว่าการวิเคราะห์โดยใช้พารามетริก (Parametric Procedure) แต่ถ้ามีระดับการวัดมาตราชานามบัญญัติ (Nominal Scale) หรือมาตราเรียงอันดับ (Ordinal Scale) จะเรียกว่า การวิเคราะห์แบบไม่ใช้พารามетริก (Nonparametric Procedure) วิธีทางสถิติที่ใช้ทดสอบและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่นิยมใช้ในงานวิจัยเชิงสถิติ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient) การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน หรือบางครั้งเรียกว่า สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) โดยใช้สัญลักษณ์ r โดยพิจารณาในรูปแบบเชิงเส้นตรง (Linear Association) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นมักจะใช้สัญลักษณ์ของตัวแปรเป็นตัวแปร X และ Y ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณซึ่งเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมากกว่าวิธีอื่นการแปลความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สามารถแปลได้ 4 ประการ

1. ปริมาณของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
2. ทิศทางของความสัมพันธ์ว่าสัมพันธ์กันทางบวกหรือทางลบ
3. มีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยการทดสอบสมมติฐาน
4. มีความสัมพันธ์กันเท่าไร เป็นการบอกความมากน้อยของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ซึ่งอาจกำหนดได้ดังนี้

ตารางที่ 1 ความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ค่าสหสัมพันธ์	ความหมาย
$r < 0.30$	มีความสัมพันธ์น้อย
$0.30 \leq r \leq 0.80$	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
$r > 0.80$	มีความสัมพันธ์มาก

เฟอร์กูสัน (Ferguson-1981)

สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation)

สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวและความสัมพันธ์นี้จะบอกให้ทราบว่าตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในระดับใด สหสัมพันธ์พหุคูณ (multiple correlation) เขียนแทนด้วยตัวย่อ R หรือย่อชนิดเต็มรูปเป็น $R_{Y, 12...k}$ (เมื่อ k แทนจำนวนตัวพยากรณ์หรือตัวแปรอิสระ) สหสัมพันธ์พหุคูณช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่เป็นไปได้สูงสุดระหว่างกลุ่มของตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามนั้นเป็นสหสัมพันธ์อย่างง่าย (แบบ Product-moment) ระหว่าง Y กับคะแนนพยากรณ์ Y ซึ่งเป็น Linear combination ของกลุ่มตัวพยากรณ์ X ดังสมการ

$$R = \frac{\sum YY'}{\sum Y^2 + \sum Y'^2}$$

เมื่อ R แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ

Y แทนคะแนนเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยของตัว
เกณฑ์

Y' แทนคะแนนคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์

โดยหลักการแล้วจะหาค่า R ได้โดยคำนวณหาคะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม (หา Y') ของสมาชิกในกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนแล้วหาสหสัมพันธ์อย่างง่ายระหว่างคะแนนพยากรณ์ดังกล่าวกับคะแนนจริง (กับ Y) ดังนั้น หลังจากหาค่า R แล้ว ผู้วิจัยจะต้องทำการทดสอบว่าค่า R ที่คำนวณได้นั้นมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของค่า R ก่อน เมื่อพบว่า R มีนัยสำคัญ ผู้วิจัยก็จะมั่นใจได้ว่ากลุ่มตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามค่า R^2 เรียกว่า ค่าสัมประสิทธิ์ของการทำนาย จะชี้ถึงสัดส่วนที่กลุ่มตัวแปรอิสระสัมพันธ์กับตัวแปรตาม กล่าวคือ เป็นสัดส่วนของความแปรปรวนในตัวแปรตามที่อาจอธิบายได้โดยกลุ่มของตัวแปรอิสระกลุ่มนั้นโดยทั่วไปจะเสนอในรูปร้อยละโดยเอา 100 คูณ R^2 ค่า R จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง +1.00 ไม่มีค่าที่เป็นลบ

วิธีคำนวณวิจัย

ในงานวิจัยได้ดำเนินงานระบบการจัดการพลังงาน โดยมีการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system : M&T) ซึ่งใช้ข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมาของโรงพยาบาล และนำข้อมูลวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสร้างเครื่องมือลดการสูญเสียการใช้พลังงานลงรวมไปถึง

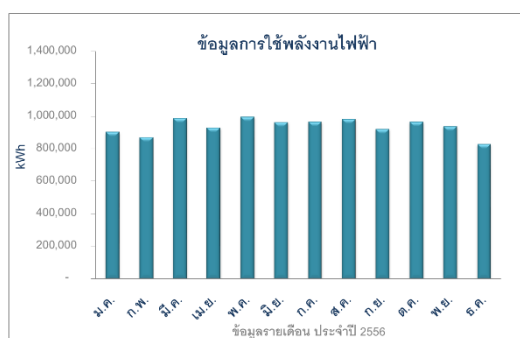
การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการทำงานให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้พลังงาน ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน



รูปที่ 1 วัฏจักรระบบการตรวจติดตามและกำหนด เป้าหมาย (M&T)

การวัดผลและเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลระดับทุติยภูมิ โดยรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานรวมของอาคาร โรงพยาบาลพญาไท 2 และข้อมูลของ ปริมาณคนไข้ใน ปริมาณคนไข้นอก อุณหภูมิภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก และพื้นที่รับอากาศ รายวัน ทั้งปี 2556 ซึ่งโรงพยาบาลพญาไท2 ถือเป็นอาคารควบคุม รหัส TSIC-ID : 93311-0030



รูปที่ 2 ค่าการใช้พลังงานของโรงพยาบาลพญาไท2 รายเดือนปี 2556

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 20 แสดงผลดังนี้

1. ตัวแปรอิสระและตัวแปรตามต้องมีมาตรวัดแบบช่วง (Interval)
2. ข้อมูลของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะต้องสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติโดยใช้ฟังก์ชัน

Normal Probability Plot

3. ทดสอบหาค่าข้อมูลที่มีค่าผิดปกติที่เกิดขึ้น (Outliers)
4. วิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)
5. การวิเคราะห์สมการสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation) และหาสมการพยากรณ์การใช้พลังงาน

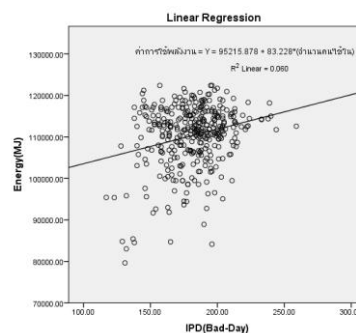
ผลการวิจัย

จากการศึกษาวิเคราะห์การถดถอยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงาน และตัวแปรอื่นๆ ดังนี้พลังงาน หน่วยการใช้ไฟฟ้าโรงพยาบาลพญาไท2

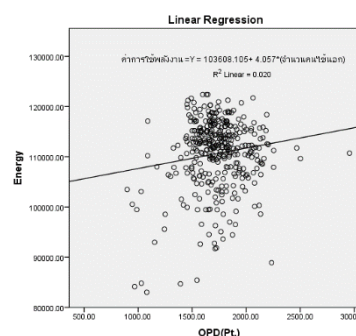
ตารางที่ 2 ตารางแสดงตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม

ตัวแปรตาม (Dependent Variable)	ตัวแปรอิสระ (Independent Variable)
พลังงานหน่วยการใช้ ไฟฟ้าโรงพยาบาล (MJ)	จำนวนคนไข้ใน (Bed-day)
	จำนวนคนไข้นอก (Pt.)
	ความชื้นภายนอก (%Rh)
	ค่าความร้อนภายนอก(GDD)
	พื้นที่ปรับอากาศ (m ²)

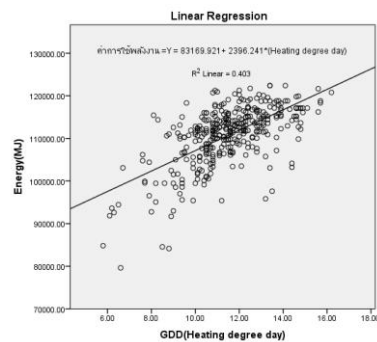
แผนภาพความสัมพันธ์เกณฑ์การใช้พลังงานรายวันเทียบกับตัวแปรตาม ทั้งหมด



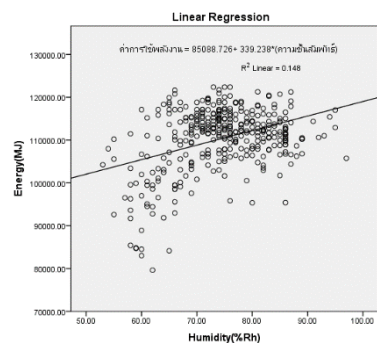
รูปที่ 3 แผนภาพแสดงสมการถดถอยของการใช้พลังงานกับปริมาณคนไข้ใน



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงสมการถดถอยของการใช้พลังงานกับปริมาณคนไข้นอก



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงสมการถดถอยของการใช้พลังงานกับอุณหภูมิภายนอก



รูปที่ 6 แผนภาพแสดงสมการถดถอยของการใช้พลังงานกับความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการหาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อการใช้พลังงานด้วยปัจจัยต่างๆสามารถเขียนเป็นรูปแบบสมการเชิงเส้น

$$Y = b_0 + b_1 X \quad \text{---(1)}$$

ตารางที่ 3 ตารางแสดงสมการถดถอยเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

สมการ	ค่า R^2
$Y = 83169.921 + 2396.241 X_1$	0.403
$Y = 85088.726 + 339.238 X_2$	0.148
$Y = 95215.878 + 83.228 X_3$	0.060
$Y = 103608.105 + 4.057 X_4$	0.020

เมื่อ Y = ค่าการใช้พลังงานโรงพยาบาล (MJ)

X_1 = อุณหภูมิภายนอก (GDD)

X_2 = ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก (%Rh)

X_3 = ปริมาณคนไข้ใน (Bed-day)

X_4 = ปริมาณคนไข้นอก (Pt.)

จากตารางที่ 3 สมการถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร พบว่าสมการถดถอยของการใช้พลังงานและอุณหภูมิภายนอกมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ($R^2 = 0.403$) และสมการถดถอย

ระหว่างการใช้พลังงานและปริมาณคนไข้ในและคนไข้นอกมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเพียง ($R^2 = 0.060$ และ 0.020) ตามลำดับ ซึ่งกล่าวได้ว่าสมการถดถอยของการใช้พลังงานและอุณหภูมิมีความแม่นยำในการพยากรณ์มากกว่าตัวแปรอื่นๆ

การวิเคราะห์เชิงสหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple Correlation)

จากการศึกษาวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างค่าการใช้พลังงาน และตัวแปรอื่นๆร่วมกันแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก ปริมาณคนไข้ใน ปริมาณคนไข้นอก มีผลแนวโน้มต่อการใช้พลังงานในทิศทางเดียวกัน

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล พญาไท 2

ตัวแปรอิสระ	b	SE.b	BETA	t	P-value
ค่าคงที่					
X_1 ค่าอุณหภูมิภายนอก	2707.945	122.513	0.715	22.103	0.000
X_2 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก	256.137	26.849	0.311	9.540	0.000
X_3 ปริมาณคนไข้ใน	71.430	11.696	0.227	6.107	0.000
X_4 ปริมาณคนไข้นอก	3.741	0.879	0.154	4.254	0.000
ค่าคงที่ = 41174.114					
R=0.807 ; R Square=0.652 ; Adjusted R Square=0.648 ; F=163.223 ; P-value=0.000					

a หมายถึงค่าคงที่ BETA หมายถึงสัมประสิทธิ์ความถดถอย

b หมายถึงสัมประสิทธิ์ความถดถอย F หมายถึงสถิติทดสอบแบบเอฟ

c หมายถึงสถิติทดสอบแบบที ** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ < 0.01

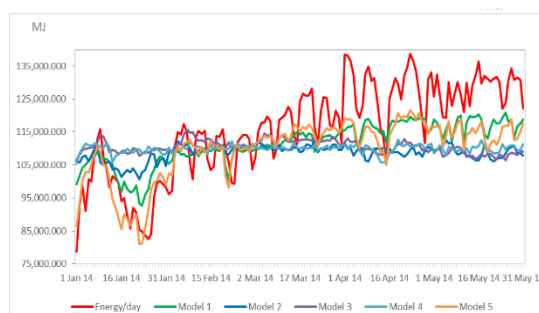
R2 หมายถึงสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ * มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ < 0.05

SE.b หมายถึงสัมประสิทธิ์ความถดถอยคลาดเคลื่อน

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS สามารถนำมาเขียนเป็นสมการพยากรณ์เพื่อใช้ในการทำนายผลการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลพญาไท2 ได้ดังสมการนี้

$$Y = 41174.114 + 2707.945X_1 + 256.137X_2 + 71.430X_3 + 3.741X_4 \quad \text{---(2)}$$

หรือ ค่าการใช้พลังงาน = $41174.114 + 2707.945$ (อุณหภูมิ) + 256.137 (ความชื้นสัมพัทธ์) + 71.430 (ปริมาณคนไข้ใน) + 3.741 (ปริมาณคนไข้นอก) สมการนี้สามารถพยากรณ์การใช้พลังงานรายวันโดยที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 65.2%



รูปที่ 7 การพยากรณ์การใช้พลังงานโดยการแทนค่าลงในสมการแบบต่างๆ

- เมื่อ Model 1 คือ กราฟสมการถดถอยของการใช้พลังงานและอุณหภูมิภายนอก
- Model 2 คือ กราฟสมการถดถอยของการใช้พลังงานและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก
- Model 3 คือ กราฟสมการถดถอยของการใช้พลังงานและคนไข้ใน
- Model 4 คือ กราฟสมการถดถอยของการใช้พลังงานและคนไข้นอก
- Model 5 คือ กราฟสมการถดถอยของการใช้พลังงานและตัวแปรอิสระต่างๆ

สรุปผลการวิจัย

ในการนำค่าพลังงานรวมของทั้ง 2 อาคาร เพื่อมาเปรียบเทียบกับปริมาณคนไข้ในเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดศักยภาพในการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลนั้น อาจเกิดความคิดพลาดได้ เนื่องจากมีแนวโน้มความสัมพันธ์กันน้อย รวมถึงอาคาร โรงพยาบาลมีการใช้งานหลากหลายรวมไปถึงพื้นที่ที่ไม่ได้ให้บริการทางการแพทย์ ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม SPSS ทำให้เห็นว่าอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่และมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมาก ทำให้อุณหภูมิภายนอกมีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานมากกว่าปัจจัยอื่นๆ

เมื่อนำสมการถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS มาแทนค่าตัวแปรในสมการถดถอยพหุคูณเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจริงในโรงพยาบาล พบว่า รูปแบบกราฟพยากรณ์การใช้พลังงานในโรงพยาบาล รูปแบบ Model 5 มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยที่สุด (Percent Error 6.8%) ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน

ข้อเสนอแนะ

การหาค่าดัชนีการใช้พลังงานที่เหมาะสมในอาคาร โรงพยาบาลพญาไท 2 นั้น เพื่อให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำและถูกต้อง ควรมีการวัดค่าพลังงานให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ซึ่งมีข้อเสนอแนะดังนี้

1.ติดตั้งระบบ Power Meter ห้องพักรักษาผู้ป่วยหรือพื้นที่ให้การรักษานักป่วยในเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและนำมาวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานต่อจำนวนผู้ป่วยในเพื่อให้ได้ค่าดัชนีที่มีความแม่นยำสูง และเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบกับโรงพยาบาลอื่น

2.จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่าความร้อนและความชื้นภายนอกอาคารสูงขึ้น มีแนวโน้มทำให้การใช้พลังงานในโรงพยาบาลสูง ซึ่งนำไปสู่การหามาตรการที่เหมาะสมเพื่อลดความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร และหามาตรการอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศซึ่งมีส่วนในการใช้พลังงานสูง

เอกสารอ้างอิง

กิตติศักดิ์ ดุ่นสกุล. 2545 . “การวิเคราะห์เพื่อการประหยัดพลังงานในอาคารประเภทโรงพยาบาล” ปรินญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดำรงศักดิ์ การเกษ. 2549. “การหาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในโรงพยาบาล กรณีศึกษาโรงพยาบาลเลิดสิน”

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต(เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

- ลัดดาวัลย์ กุลกวินรักษ์. 2549. “การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของพนักงานบริษัท
ฟู้ดส์ ประเทศไทย” ปรินญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและ
เทคโนโลยี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ณัฐเดช ปัญญาดี. 2551. “การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของหน่วยราชการภายในศาลากลางจังหวัด
เชียงใหม่” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่)
- พิมล อุดมบริรักษ์. 2551. “การวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มสถานีดำรงจ” ปรินญา
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เทิดไทย นาครักษ์. 2554. “การจัดการและปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์
รังสิต” ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต(เทคโนโลยีชนบท) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- กรณ์พิรา แก้วฉิมพลี. 2554. : “การประยุกต์แนวทางการลดการใช้พลังงานในโรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์”
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

การศึกษาความเสี่ยงของธุรกิจการขนส่งทางถนน

A STUDY ON RISK OF LAND TRANSPORTATION BUSINESS

วันวิสา ด่วนตระกูลศิลป์

อาจารย์ประจำ วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : wanwisa.du@spu.ac.th

กิตติชัย ประเสริฐพรศรี

นักวิจัยอิสระ

E-mail : kittichapra@gmail.com

ชรินี มณีศรี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : tharinee.ma@spu.ac.th

สินีนารถ ไพสิฐฐานันท์

อาจารย์ประจำ วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : sineenart.pi@spu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนน และแนวทางในการบริหารจัดการความเสี่ยง โดยใช้วิธีการระดมความคิดเห็นจากบริษัทผู้ให้บริการขนส่งทางถนน ของสมาคมขนส่งสินค้าไทยและโลจิสติกส์ เพื่อการบ่งชี้ความเสี่ยงของธุรกิจในปัจจุบัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ และประเมินความเสี่ยง โดยใช้มาตรฐาน COSO (Committee of Sponsoring Organization of the Tread Way Commission) ผลการวิจัย สามารถชี้บ่งและวิเคราะห์ความเสี่ยงธุรกิจเป็น 7 ประเด็นหลักๆ ได้แก่ การพึ่งพิงลูกค้ารายใหญ่ อุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง ภัยพิบัติทางธรรมชาติ ความผิดพลาดด้านการจัดการเอกสาร ขาดแคลนบุคลากร ความผันผวนของราคาน้ำมัน และการสื่อสารภายในองค์กรที่ผิดพลาด ซึ่งเป็นความเสี่ยงในระดับต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วน

คำสำคัญ: การชี้บ่งความเสี่ยง การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง ธุรกิจขนส่งทางถนน

ABSTRACT

This research study on risk of land transport business and provide the guideline to manage the risk. The research method is focus group of logistics service providers which are the member of Thai Transportation

and Logistics Association (TTLA) to identify their business's risk. The risk was analyzed and evaluated by using the COSO standard (Committee of Sponsoring Organization of the Tread Way Commission). The result identified the risk into 7 issues as following, reliance on major customers, transportation accident, natural disaster, document arrangement error, lack of employee, fluctuation of fuel price, and internal communication error. These 7 issues are the risk of transportation and logistics problems that need to be solved immediately.

KEYWORDS: risk identify, risk analysis and evaluation, land transport business

1. บทนำ

ผู้ประกอบการโลจิสติกส์ในประเทศไทยจากข้อมูลรายชื่อบริษัทผู้ให้บริการโลจิสติกส์ที่ได้จดทะเบียนกับกรมพัฒนาธุรกิจการค้า พบว่า ร้อยละ 58 ให้บริการขนส่งสินค้า ผู้ให้บริการโลจิสติกส์ด้านการขนส่งสินค้าทางถนนพบว่า มีจุดแข็ง จุดอ่อน ที่น่าสนใจคือ ผู้ให้บริการโลจิสติกส์ไทย ส่วนใหญ่มีความชำนาญในด้านบริการขนส่งทางถนน และมีความชำนาญเกี่ยวกับเส้นทาง การบริการขนส่งทางถนนเป็นอย่างดี อีกทั้งยังมี การรวมตัวเป็นกลุ่มพันธมิตร สมาพันธ์/สมาคมเพื่อสร้างเครือข่ายผู้ประกอบการ มุ่งเน้นความร่วมมือด้านต่างๆ ทั้งในด้านข้อมูล ข่าวสาร การแลกเปลี่ยนเทคโนโลยี รวมถึงการเพิ่มอำนาจในการต่อรองกับผู้ให้บริการรายใหญ่ แต่ในทางกลับกันผู้ประกอบการโลจิสติกส์ไทยก็ยังมีจุดอ่อนในหลายประการ และปัจจัยเสี่ยงด้านอื่นที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการโลจิสติกส์รวมถึงในส่วนที่เป็นปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกที่ยากต่อการควบคุม เช่นการผันผวนของภาวะเศรษฐกิจ การเมือง ปัญหาแรงงาน ปัญหาจากการขนส่ง ระเบียบข้อบังคับทางด้านกฎหมาย ปัญหาจากภัยธรรมชาติ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวข้างต้นย่อมส่งผลกระทบต่อการค้าดำเนินงานด้านโลจิสติกส์ทั้งด้านบวกและลบ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัย ที่ต้องการศึกษา ความเสี่ยงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานในธุรกิจขนส่งทางถนน เพื่อนำมาวิเคราะห์ปัจจัยความเสี่ยงอย่างเป็นระบบและเสนอแนวทางในการแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการประเมินระดับโอกาสที่เกิด ความรุนแรงของผลกระทบจากปัจจัยความเสี่ยงแต่ละประเภท การจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยความเสี่ยง พร้อมเสนอแนวทางในการตอบสนองต่อความเสี่ยงได้อย่างถูกต้องเหมาะสม

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยได้ทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาปรับใช้กับการกำหนดกรอบแนวคิด และการสร้างเครื่องมือในการศึกษาวิจัย โดยได้แบ่งเป็น แนวคิดด้านกิจกรรมการขนส่ง และทฤษฎีเกี่ยวกับการบริหารและการจัดการความเสี่ยง นอกจากนี้แล้วได้ทำการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ ซึ่งประกอบด้วย

นิรภัย จันทร์สวัสดิ์ ได้ศึกษาเรื่อง “การบริหารความเสี่ยงจากภาคทฤษฎีสู่ภาคปฏิบัติ” ได้ใช้แผนผังความเสี่ยงตามตาราง Risk Matrix โดยจะแบ่งเป็นสองแกน คือ แกนความถี่และแกนของความรุนแรง เพื่อนำมาพล็อตในตารางเพื่อหาระดับความเสี่ยง (Degree of Risk) ในส่วนของการจัดการต่อความเสี่ยงนั้น ใช้วิธีการรับมือความเสี่ยง คือการควบคุมความเสี่ยงหรือการกำจัดความเสี่ยง (Risk Control ,Risk Elimination) การถ่ายโอนความเสี่ยง (Risk Transfer) การคงไว้ซึ่งความเสี่ยงหรือการยอมรับความเสี่ยง (Risk Retention) และการหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance)

ชัยเสกสรรค์ พรหมศรี ได้ศึกษาเรื่อง “งานวิจัยเรื่องการประเมินความเสี่ยงทางด้านการรักษาความปลอดภัยสำหรับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย” พบว่า “กลุ่มความเสี่ยง ประเภทหลักๆ คือ ความเสี่ยงทางด้านเทคนิค (Technical Risk) ความเสี่ยงทางด้านตลาด (Market Risk) ความเสี่ยงทางการเงิน (Financial Risk) ความเสี่ยงทางด้านมนุษย์ (Human Risk) เมื่อตัดสินใจเลือกกลุ่มของการรับกับมือของความเสี่ยงแล้วนั้นจะนำเทคนิคการระดมสมองมาใช้ในการหาแนวปฏิบัติที่ดีหรือ Best Practice ร่วมกันเพื่อที่จะนำไปใช้ปฏิบัติ”

อังคณา ทรงเวชเกษม ได้ศึกษาเรื่อง “การจัดการความเสี่ยงในการขนส่งของบริษัท ลินฟอกซ์ เอ็ม โลจิสติกส์ (ประเทศไทย)” พบว่า “ผู้ว่าจ้างกับบริษัทขนส่ง แต่ขณะนี้การดำเนินธุรกิจจะเป็นลักษณะของกลุ่มค้าเนื่องจากจะต้อง มีการทำงานร่วมกัน มีการเก็บข้อมูลเพื่อเอื้อประโยชน์ ในทางการค้า เช่น เมื่อขนส่งสินค้าไปยังจุดหมายแล้ว การลำเลียงสินค้าเข้าสู่หน้าร้านจะทำให้ทราบได้ว่าสินค้าชนิดไหนขายดีไม่ใช่อะไร อีกทั้งผู้ที่ทำหน้าที่ขนส่งสินค้า จะได้รับข้อมูลของสินค้าโดยตรง ซึ่งจากข้อมูลตรงนี้จะช่วยให้ลูกค้าหรือเจ้าของสินค้าสามารถวางแผนทางการตลาดได้ดียิ่งขึ้น พร้อมทั้งแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน ซึ่งจะเอื้อประโยชน์ให้กับการทำงานทั้งสองฝ่าย”

Hillson ได้ศึกษาเรื่อง “Risk management: Best practice & Future developments” พบว่า “การบริหารความเสี่ยงไม่มีรูปแบบที่ตายตัวและไม่มีหลักปฏิบัติที่ดีที่สุดแต่สามารถช่วยกันคิดเพื่อหาสิ่งที่ดีที่สุดจากการยอมรับเพื่อไปปฏิบัติ”

Nicolea, C. ได้ศึกษาเรื่อง “Risk management in road transport” พบว่า “ความเสี่ยงของธุรกิจการขนส่งทางถนนต้องอาศัยพื้นฐานของการคาดการณ์มาประกอบการประเมินและวิเคราะห์ ความเสี่ยง รวมไปถึงการตัดสินใจในการลดความเสี่ยงเหล่านั้น ทำให้การขนส่งทางถนน เป็นธุรกิจที่มีระบบความปลอดภัย ในการให้บริการ อีกทั้งยังเป็นการสร้างคุณภาพ และ เกิดความพึงพอใจของผู้บริโภค”

สรุปโดยรวมว่าความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนนนั้นเป็นเรื่องยากที่จะคาดเดาได้และมีการใช้เทคนิคการระดมสมองมาใช้เพื่อค้นหา/ระบุความเสี่ยงนั้นรวมถึงวัดระดับของความเสี่ยง (Degree of Risk) ในส่วนของจัดการต่อความเสี่ยงนั้น พบว่าวิธีการที่จะรับมือความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นนั้นที่นิยมใช้กัน คือการควบคุมความเสี่ยงหรือการกำจัดความเสี่ยง (Risk Control ,Risk Elimination) การถ่ายโอนความเสี่ยง (Risk Transfer) การคงไว้ซึ่งความเสี่ยงหรือการยอมรับความเสี่ยง (Risk Retention) และการหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance) เพื่อให้การดำเนินธุรกิจขนส่งทางถนนมีประสิทธิภาพ

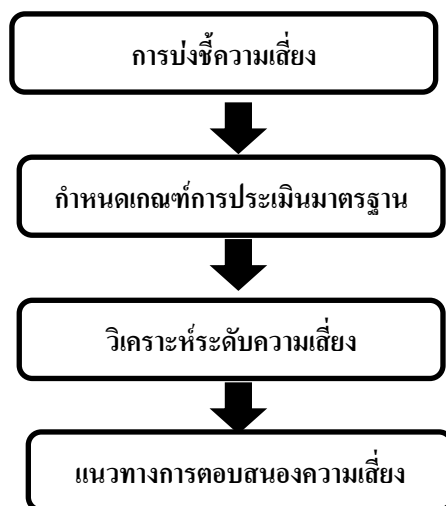
2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนน และแนวทางในการบริหารจัดการความเสี่ยง

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างโดยการสุ่มแบบเจาะจงกลุ่มบริษัทผู้ให้บริการขนส่งทางถนนและโลจิสติกส์จำนวน 248 รายซึ่งเป็นสมาชิกของสมาคมขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์ไทยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดย

ตารางของเครซีและมอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) ได้กลุ่มตัวอย่าง 152 ราย โดยแบ่งกลุ่มออกเป็น 5 กลุ่มตามความเหมาะสมโดยให้แต่ละกลุ่มกรอกข้อมูลลงในแบบสอบถามเองและระดมสมองในรูปแบบสนทนา (Dialogue) เพื่อค้นหา / วิเคราะห์ความเสี่ยงสำหรับธุรกิจขนส่งและโลจิสติกส์ โดยใช้การบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐาน COSO (Committee of Sponsoring Organization of the Tread Way Commission)



ภาพที่ 1 วิธีดำเนินการวิจัย

1. การบ่งชี้ความเสี่ยง การวิเคราะห์ เพื่อระบุความเสี่ยง ได้มีการระดมสมองหาค้นหาปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องแต่ละด้านมาเป็นหลักในการวิเคราะห์ความเสี่ยงของแต่ละแผนงาน/โครงการ โดยควรคำนึงถึงปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินการตามแผนงาน/โครงการ ซึ่งสัญญาณบ่งชี้จะนำไปสู่ความเสี่ยงที่แผนงาน/โครงการไม่ประสบความสำเร็จ โดยดูทั้งปัจจัยภายใน และปัจจัยภายนอกเป็นส่วนประกอบ ในการดำเนินการวิเคราะห์ ในการวิเคราะห์เพื่อระบุความเสี่ยงต่างๆ พิจารณาจากปัจจัยเสี่ยงใน 5 ด้าน ดังนี้

1.1 ความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ (Strategic Risk: S) คือ ความเสี่ยงที่เกิดจากการกำหนดแผนกลยุทธ์ แผนดำเนินงานที่นำไปปฏิบัติไม่เหมาะสมหรือไม่สอดคล้องกับปัจจัยภายในและสภาพแวดล้อมภายนอก อันส่งผลกระทบต่อการบรรลุวิสัยทัศน์ พันธกิจ หรือสถานะขององค์กร แหล่งที่มาของความเสี่ยงด้านกลยุทธ์

1.2 ความเสี่ยงด้านการดำเนินงาน (Operational Risk: O) คือ ความเสี่ยงที่เกิดจากการกำหนดการดำเนินการ ในการปฏิบัติงานของบุคลากร ซึ่งส่งผลกระทบต่อปฏิบัติงานต่างๆ ขององค์กร ทำให้ไม่บรรลุวัตถุประสงค์และละเป้าหมายที่กำหนด

1.3 ความเสี่ยงด้านการเงิน (Financial Risk: F) คือ ความเสี่ยงเกี่ยวกับการบริหารงบประมาณและการเงิน เช่น การบริหารการเงินไม่ถูกต้อง ไม่เหมาะสม ทำให้ขาดประสิทธิภาพ และไม่ทันต่อสถานการณ์หรือเป็นความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการเงินขององค์กร เช่น การประมาณการงบประมาณไม่เพียงพอ และไม่สอดคล้องกับขั้นตอนการดำเนินการ เป็นต้น

1.4 ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติตามกฎหมาย/กฎระเบียบ (Compliance Risk : C) คือ ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติตามกฎ ระเบียบต่างๆ โดยความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเป็นความเสี่ยงเนื่องจากความไม่ชัดเจน ความไม่ทันสมัย หรือความไม่ครอบคลุมของกฎหมาย กฎระเบียบ ข้อบังคับ ต่างๆ รวมทั้ง การทำนิติกรรมสัญญา

การร่างสัญญาที่ไม่ครอบคลุมการดำเนินงานในการวิเคราะห์ความเสี่ยงนั้น นอกจากส่วนราชการจะพิจารณาปัจจัยเสี่ยงจากด้านต่างๆ แล้วจะต้องนำแนวคิดเรื่องธรรมาภิบาลที่เกี่ยวข้องในแต่ละด้านมาเป็นปัจจัยในการวิเคราะห์ความเสี่ยง

1.5 ความเสี่ยงด้านการสื่อสาร (Communication Risk) คือ เป็นความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในด้านสารสนเทศหรือข้อมูลทางบัญชี งบการเงิน การรายงานต่าง ๆ ทางการเงิน ความเสี่ยงด้านภาษี รวมไปถึงความเสี่ยงในด้านเทคโนโลยีอื่น ๆ

2. กำหนดเกณฑ์ประเมินมาตรฐาน เป็นการกำหนดเกณฑ์ที่จะใช้ในการประเมินความเสี่ยง ได้แก่ ระดับโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยง (Likelihood) ระดับความรุนแรงของผลกระทบ (Impact) และระดับของความเสี่ยง (Degree of Risk) ซึ่งคณะกรรมการบริหารความเสี่ยงฯ ได้กำหนดแนวทางการพิจารณาถึงผลกระทบโอกาสในการเกิดของเหตุการณ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1 แสดงระดับโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ

ระดับ	โอกาสที่จะเกิด	ระดับโอกาส ในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ	
		(เชิงปริมาณ)	(เชิงคุณภาพ)
5	สูงมาก	1 เดือนต่อครั้งหรือมากกว่า	มีโอกาสในการเกิดสูงมาก
4	สูง	1-6 เดือนต่อครั้งแต่ไม่เกิน 5 ครั้ง	มีโอกาสในการเกิดค่อนข้างสูงหรือบ่อยๆ
3	ปานกลาง	1 ปีต่อครั้ง	มีโอกาสเกิดบ้างเป็นบางครั้ง
2	น้อย	2 - 4 ปีต่อครั้ง	อาจมีโอกาสดังกล่าวเกิดขึ้น
1	น้อยมาก	5 ปีต่อครั้ง	แทบไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเลย

ตารางที่ 2 ระดับความรุนแรงของผลกระทบของความเสี่ยง

ระดับ	โอกาสที่จะเกิด	ผลกระทบในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ	
		(เชิงปริมาณ)	(เชิงคุณภาพ)
5	สูงมาก	> 1 ล้านบาท	มีการบาดเจ็บถึงชีวิต
4	สูง	> 2.5 แสนบาท – 1 ล้านบาท	มีการบาดเจ็บสาหัสถึงขั้นพักงาน
3	ปานกลาง	> 50,000 – 2.5 แสนบาท	มีการบาดเจ็บสาหัสถึงขั้นหยุดงาน
2	น้อย	> 10,000 – 50,000 บาท	มีการบาดเจ็บรุนแรง
1	น้อยมาก	ไม่เกิน 10,000 บาท	ไม่มีการบาดเจ็บรุนแรง

3. วิเคราะห์ความเสี่ยง เมื่อพิจารณาโอกาสและความถี่ที่จะเกิดเหตุการณ์และความรุนแรงของผลกระทบของแต่ละปัจจัยเสี่ยงแล้วให้นำผลที่ได้มาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างโอกาสที่จะเกิดความเสี่ยงและผลกระทบของความเสี่ยงต่อองค์กรหรือหน่วยงานว่าก่อให้เกิดระดับของความเสี่ยงในระดับใดโดยจัดเรียงตามลำดับ จากระดับสูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ และเลือกความเสี่ยงที่มีระดับสูงมากและสูงโดยระดับความเสี่ยง = โอกาสในการเกิดเหตุการณ์ต่างๆ x ความรุนแรงของเหตุการณ์ต่างๆ (Likelihood x Impact) ซึ่งจัดแบ่งเป็น 4 ระดับ สามารถแสดงเป็น Risk Profile แบ่งพื้นที่เป็น 4 ส่วน (4 Quadrant) ซึ่งใช้เกณฑ์ในการจัดแบ่ง ดังนี้

- (1) ระดับความเสี่ยงต่ำ (Low) คะแนนระดับความเสี่ยง 1 – 4 คะแนน ขอมรับความเสี่ยง
- (2) ระดับความเสี่ยงปานกลาง (Medium) คะแนนระดับความเสี่ยง 5 – 9 คะแนน ขอมรับความเสี่ยง แต่มีแผนควบคุมความเสี่ยง
- (3) ระดับความเสี่ยงสูง (High) คะแนนระดับความเสี่ยง 10 – 15 คะแนน มีแผนลดความเสี่ยง
- (4) ระดับความเสี่ยงสูงมาก (Extreme) คะแนนระดับความเสี่ยง 16 – 25 คะแนน มีแผนลดและประเมินซ้ำหรือถ่ายโอนความเสี่ยง

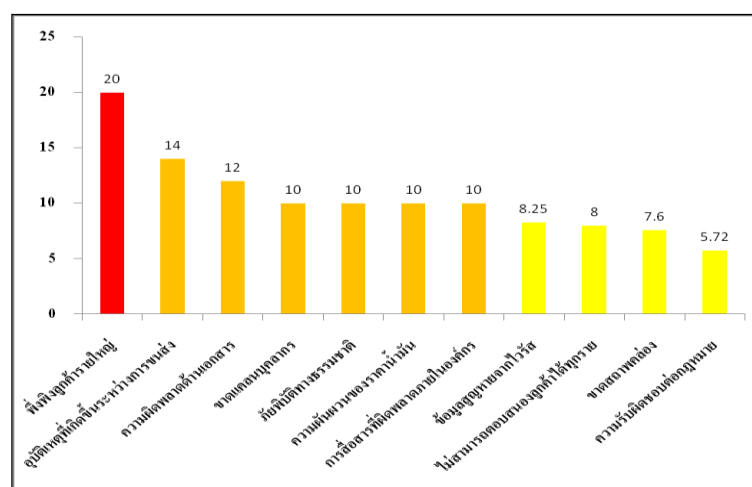
4. แนวทางการตอบสนองความเสี่ยง กำหนดแนวทางการตอบสนองความเสี่ยงมุ่งเน้นให้องค์กรสามารถบริหารความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ กลยุทธ์ในการจัดการความเสี่ยงแบ่งได้เป็น 4 แนวทางหลัก คือ

1. การยอมรับ (Take, Accept) หมายถึง การที่ความเสี่ยงนั้นสามารถยอมรับได้ภายใต้การควบคุมที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งไม่ต้องดำเนินการใดๆ
2. การลด/ควบคุม (Reduction) หมายถึง เป็นการปรับปรุงระบบการทำงานหรือการออกแบบวิธีการทำงานใหม่ เพื่อลดโอกาสที่จะเกิด หรือลดผลกระทบให้อยู่ในระดับที่องค์กรยอมรับได้
3. การยกเลิก (Terminate) หรือ หลีกเลี่ยง (Avoid) คือ ความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับและต้องจัดการให้ความเสี่ยงนั้นไปอยู่นอกเงื่อนไขการดำเนินงาน โดยมีวิธีการจัดการความเสี่ยงในกลุ่มนี้
4. การถ่ายโอนความเสี่ยง (Transfer) หรือ แบ่ง (Share) คือ ความเสี่ยงที่สามารถโอนไปให้ผู้อื่นได้ เช่น การทำประกันภัย/ประกันทรัพย์สินกับบริษัทประกัน การจ้างบุคคล ภายนอกหรือการจ้างบริษัทภายนอกมาจัดการในงานบางอย่างแทน

4. ผลการวิจัย

จากการระดมความคิดเห็นในการชี้แจงความเสี่ยง ของกลุ่มบริษัทผู้ให้บริการขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์ทางถนน จำนวน 152 ราย จากสมาคมขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์ไทย โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม แสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งแสดงแผนภูมิแท่งจะเห็นความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนนและโลจิสติกส์โดยรวมว่าอยู่ในระดับที่ปานกลางถึงสูงมาก แต่ความเสี่ยงที่ยอมรับได้(Risk Appetite Boundary) นั้นจะอยู่ในระดับต่ำ (คะแนนระดับความเสี่ยง 1 – 4 คะแนน) ถึงปานกลาง (คะแนนระดับความเสี่ยง 5 – 9 คะแนน) ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะเสนอแนวทางแก้ไขในความเสี่ยงที่อยู่ในระดับสูง (คะแนนระดับความเสี่ยง 10 – 15 คะแนน) ถึงสูงมาก (คะแนนระดับความเสี่ยง 16 – 25 คะแนน) โดยจะแสดงเป็นแผนการและแนวทางจัดการความเสี่ยง

แผนแนวทางการจัดการความเสี่ยงที่อยู่ในระดับสูงถึงสูงมากจากความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนน และโลจิสติกส์โดยรวม แสดงดังตารางที่ 3 จะได้ความเสี่ยงสำหรับธุรกิจได้ 7 ประเด็น ได้แก่ การพึ่งพิงลูกค้ารายใหญ่ อุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง ภัยพิบัติทางธรรมชาติ ความผิดพลาดด้านการจัดการเอกสาร ขาดแคลนบุคลากร ความผันผวนของราคาน้ำมัน และการสื่อสารภายในองค์กรที่ผิดพลาด ซึ่งทั้ง 7 ประเด็นนี้เป็นความเสี่ยงที่ธุรกิจขนส่งทางถนนและโลจิสติกส์ต้องได้รับการแก้ไขโดยเร่งด่วน โดยกลยุทธ์ที่ใช้ในการจัดการความเสี่ยงจะเป็นกลยุทธ์การยอมรับความเสี่ยง การควบคุมความเสี่ยง การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง และการถ่ายโอนความเสี่ยง



ภาพที่ 2 แผนภูมิแท่งแสดงความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนน

ตารางที่ 3 แนวทางการจัดการความเสี่ยงที่อยู่ในระดับสูงถึงสูงมากจากความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนน

ลำดับ	ด้านของความเสี่ยง	ความเสี่ยง	กลยุทธ์ที่ใช้จัดการความเสี่ยง	แนวทางการจัดการความเสี่ยง
1	ด้านกลยุทธ์	พึ่งพิงลูกค้ารายใหญ่	การแชร์ความเสี่ยง	-มีการขยายการขนส่งให้หลายบริษัท
2	ด้านการปฏิบัติงาน	อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง	ควบคุมความเสี่ยง	-มีการอบรมให้ความรู้แก่บุคลากรด้านความปลอดภัยและการรับมืออุบัติเหตุในการขนส่ง -มาตรการตรวจสอบสภาพรถของผู้ขับขี่ -การวางแผนการซ่อมบำรุงรถขนส่ง
		ภัยพิบัติทางธรรมชาติ	ควบคุมความเสี่ยง	-มีการเตรียมแผนงาน แนวทางแก้ไขและรับมือเมื่อเกิดภัยธรรมชาติ
		ความผิดพลาดการเอกสาร	ควบคุมความเสี่ยง	-มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสนับสนุนในการจัดการเอกสาร
		ขาดแคลนบุคลากร	ควบคุมความเสี่ยง การถ่ายโอนความเสี่ยง	-มีการจ้างเพิ่มเติม -มีการจ้าง outsource
3	ด้านการเงิน	ความผันผวนของราคาน้ำมัน	การควบคุมความเสี่ยง การถ่ายโอนความเสี่ยง การยกเลิกความเสี่ยง	-มีการทำสัญญาซื้อขายเชื้อเพลิงล่วงหน้า -มีการตกลงกับลูกค้าล่วงหน้าเรื่องราคาการให้บริการ -มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอื่นเป็นพลังงานทางเลือก เช่น NGV
4	ด้านการสื่อสาร	การสื่อสารที่ผิดพลาดภายในองค์กร	การควบคุมความเสี่ยง	-นำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการสื่อสาร -มีส่วนร่วมในการรับ ส่งการสื่อสารภายในองค์กร -มีการติดประกาศภายในองค์กร

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาการวิเคราะห์ความเสี่ยงสำหรับธุรกิจขนส่งทางถนนและโลจิสติกส์ โดยมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ทั้งความเสี่ยงและเสนอแนวทางการจัดการความเสี่ยงสำหรับธุรกิจขนส่งทางถนน โดยได้รับความร่วมมือกับบริษัทสมาชิกสมาคมขนส่งไทยและโลจิสติกส์เพื่อเป็นแนวทาง ในการจัดการความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในธุรกิจขนส่ง โดยมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงของธุรกิจขนส่งทางถนน และโลจิสติกส์ออกเป็น 5 ด้าน คือ ความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ (Strategic Risk) , ความเสี่ยงด้านการดำเนินงาน (Operational Risk), ความเสี่ยงด้านการเงิน (Financial Risk) , ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติตามกฎหมาย (Compliance Risk), ความเสี่ยงด้านการสื่อสาร (Communication Risk) จากการระดมความคิดเห็นสามารถชี้บ่งความเสี่ยงของทั้ง 5 กลุ่มบริษัทของสมาคมขนส่งและโลจิสติกส์

ไทย เห็นว่าความเสี่ยงทั้ง 5 ด้าน จะอยู่ในระดับความรุนแรงที่แตกต่างกันไป ผลจากการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงสามารถแบ่งได้เป็น 7 ประเด็น ได้แก่ การพึ่งพิงลูกค้ารายใหญ่ อุบัติเหตุระหว่างการขนส่ง ภัยพิบัติทางธรรมชาติ ความผิดพลาดด้านเอกสาร ขาดแคลนบุคลากร ความผันผวนของราคาน้ำมัน การสื่อสารที่ผิดพลาดภายในองค์กร โดย 7 ประเด็นนี้ เป็นความเสี่ยงที่ธุรกิจขนส่งทางถนนและโลจิสติกส์ต้องได้รับการแก้ไขโดยเร่งด่วน เนื่องจากอยู่ในระดับเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ (ตั้งแต่ 9 คะแนนขึ้นไป) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอกลยุทธ์ที่ใช้ในการจัดการความเสี่ยงด้วยกลยุทธ์การจัดการความเสี่ยงทั้ง 4 ด้าน คือ การเพิกเฉยหรือการยอมรับความเสี่ยง การลดหรือควบคุมความเสี่ยงการยกเลิกหรือหลีกเลี่ยงความเสี่ยง และการถ่ายโอนหรือการแบ่งความเสี่ยงตามแต่ละประเด็น และนำเสนอแนวทางการจัดการความเสี่ยงในแต่ละประเด็นนั้นตามประเด็นความเสี่ยงนั้นๆ เพื่อเป็นแนวทางให้กับบริษัทธุรกิจการขนส่งทางถนนและโลจิสติกส์ของสมาคมขนส่งสินค้าไทยและโลจิสติกส์

6. ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงแบบเฉพาะเจาะจง เฉพาะสมาชิกของสมาคมขนส่งสินค้าและ โลจิสติกส์ไทย และเป็นการนำเสนอกลยุทธ์แนวทางการจัดการความเสี่ยงในภาพรวมของสมาคม ดังนั้นสำหรับบริษัททั้งในสมาคมขนส่งสินค้าและ โลจิสติกส์ไทย หรือภายนอกสมาคมจะนำแผนงานนี้ไปใช้ ควรมีการวิเคราะห์และประเมินผล ความเสี่ยงในรายละเอียดของบริษัทเพิ่มเติม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการ Nano MBA in Logistics Management โดยกรมการค้าต่างประเทศกระทรวงพาณิชย์ สมาคมขนส่งสินค้าและ โลจิสติกส์ไทย และบริษัท เอ็ม โฟกัส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ชัยเสฏฐ์ พรหมศรี, 2550, “การบริหารความเสี่ยง”, เอ็กซ์เพอร์เน็ท กรุงเทพฯ.

ชัยเสฏฐ์ พรหมศรี, 2551. งานวิจัยเรื่องการประเมินความเสี่ยงทางด้านการรักษาความปลอดภัยสำหรับระบบรถไฟฟ้าใต้ดินของการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย.

ณัฐชัย เหลืองหิรัญ, เอกภพ รอดเที่ยง, 2553, “การศึกษากระบวนการการบริหารความเสี่ยงเพื่อลดปัญหาการล่าช้าของเที่ยวบิน”, สาขาการจัดการการบิน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Carbone, A., Tippet, D., 2004. “Project Risk Management Using the Project Risk FMEA”, **Engineering Management Journal**, Vol. 16, No. 4, Pages 28-35.

Hillson, D., 2004, “Risk management: Best practice & Future developments”, Risk Doctor Limited, Pages 1-13.

การตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการจัดการขนส่ง

กรณีศึกษา บริษัท ลีน่า จำกัด

THE LOCATION SELECTION OF DISTRIBUTION CENTER AND TRANSPORTATION MANAGEMENT : A CASE STUDY LEENA CO., LTD

อภิญญา ทวนทอง

นักศึกษาปริญญาโท วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : uu52112802015@gmail.com

ดร.พีรรัชต์ อัฐรัตนโชค

อาจารย์ประจำวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : peeratarat.ittarattanachoke@ge.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเรื่อง การตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าและการจัดการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท ลีน่า จำกัด เนื่องจากปัจจุบันทางบริษัท มีการกระจายสินค้าจากคลังเพียงจุดเดียว คือที่จังหวัดสมุทรปราการทำให้มีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการขนส่งที่ไม่เหมาะสม จึงได้ทำการวิเคราะห์และศึกษาข้อมูลในปัจจุบันเพื่อหาทำเลที่ตั้งในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมและช่วยแก้ปัญหาการขนส่งให้มีต้นทุนในการส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยการดำเนินงานประกอบด้วยการเลือกทำเลที่ตั้ง แบบ Center of Gravity เพื่อเลือกทำเลที่ตั้งในละติจูด ลองจิจูด ที่เหมาะสมที่สุด และใช้วิธี Factor Rating ด้วยวิธีการให้คะแนนน้ำหนักแต่ละปัจจัยในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งจะช่วยให้ทราบว่าปัจจัยแต่ละปัจจัยมีความสำคัญมากน้อยเพียงใดและจากการให้น้ำหนักความสำคัญจะทำให้ทราบน้ำหนักคะแนนในแต่ละพื้นที่ ผู้วิจัยใช้ Transportation Problem เข้ามาช่วยการจัดการขนส่งและใช้โปรแกรม Storm คำนวณต้นทุนโดยพิจารณาจากระยะทางในการกระจายสินค้าให้แก่ลูกค้า ผลพบว่าเมื่อได้สร้างศูนย์กระจายสินค้า สามารถกระจายสินค้าได้ดีกว่าเดิม ซึ่งมีต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำกว่า

คำสำคัญ : การขนส่ง, ต้นทุนในการขนส่ง, ทำเลที่ตั้ง, ศูนย์กระจายสินค้า

ABSTRACT

This research is to study the location selection of distribution center and transportation management which is a case of Leena Co., Ltd. According to the distribution has been done from a warehouse at Samutprakarn, then it appears an unappropriated transportation cost finally. The research has analyzed and

studied a proper distribution center and developed the lowest transportation cost for Northern & North-eastern customers. The process are including; Location selection as 'Center of Gravity' to find the best Latitude & Longitude of each places, and Factor Rating by weighted score each significant factors. 'Transportation Problem' theory will support transportation management and also 'Storm program' will automatically calculate cost depending on distance of distribution to customers. The result of this research has showed that new distribution center can distribute goods efficiently with lower cost of transportation also

KEY WORDS : Transport, Transport costs, Location, Distribution Center

1. บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจอุตสาหกรรมรางไฟ ผู้ผลิตบอร์ด และชุดคอมพิวเตอร์ แข่งขันสูง ทำให้ทุกองค์กรหรือทุกบริษัทมีการบริหารจัดการตั้งแต่กระบวนการรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และกระบวนการจัดเก็บสินค้า จนถึงกระบวนการส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้า ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ดังนั้นการสร้าง Warehouse หรือ ศูนย์กระจายสินค้า ให้ใกล้กับลูกค้าเพื่อสะดวกในการจัดส่งและลดต้นทุนการขนส่งจึงเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก เพื่อให้สินค้าเกิดความเสียหาย และจัดส่งสินค้าให้ถึงมือลูกค้าได้ทันตามเวลาที่กำหนด

ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) จึงเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน โดยศูนย์กระจายสินค้ามีไว้สำหรับจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูปเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างความต้องการของลูกค้าและอัตราการผลิต ตามเงื่อนไขและเวลาที่ได้วางแผนไว้ ซึ่งหากมีการบริหารจัดการสินค้าที่ดีและมีประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลดีต่อองค์กรหรือบริษัทในด้านการบริหารจัดการที่เป็นระเบียบ ทั้งยังมีผลต่อการตอบสนองของลูกค้าและลดต้นทุนในการขนส่ง แต่ในทางกลับกันถ้ามีการบริหารจัดการศูนย์กระจายสินค้าที่ไม่มีคุณภาพและประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลเสียต่อองค์กรและบริษัทตั้งแต่การบริหารจัดการที่ไม่เป็นระเบียบ หรือทำให้เกิดต้นทุนที่สูงเกินไปในการทำงาน และถ้าหากทางองค์กรไม่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า หรือส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าไม่ทันเวลาตามที่กำหนดได้ ก็จะส่งผลต่อความสัมพันธ์ของลูกค้ากับองค์กรหรือบริษัทในอนาคต

การวิเคราะห์ทำเลที่ตั้ง ถือว่าเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการสร้างศูนย์กระจายสินค้าที่มีต้นทุนสูงและเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมาก หากมีการวางแผนไม่ดีและไม่มีความมีประสิทธิภาพ ก็จะส่งผลตั้งแต่กระบวนการนำสินค้าเข้าคลัง จัดวางสินค้า และการนำสินค้าส่งมอบให้แก่ลูกค้า จึงทำให้ทั้งหมดเกิดความยุ่งยากและเวลาในการทำงานก็จะนานขึ้น ทำให้การปฏิบัติไม่เป็นไปตามแผนที่วางไว้ แต่ถ้าหากมีการวางแผนวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งเพื่อสร้างศูนย์กระจายสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพก็จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการทำงาน และการแข่งขันทางธุรกิจได้ การวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งควรคำนึงถึงองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ความต้องการของลูกค้าที่มีต่อสินค้าแต่ละประเภท ต้นทุนในการขนส่ง มีการนำระบบสารสนเทศมาช่วยในการเก็บข้อมูลและใช้แสดงผลของข้อมูลสินค้า ทำให้ทราบถึงรายละเอียดต่าง ๆ และความต้องการของลูกค้าได้ง่าย ซึ่งส่วนนี้ก็จะช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดเก็บและป้อนข้อมูล ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลเนื่องจากผู้ใช้งาน ระบบสารสนเทศสามารถช่วยลดขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น ช่วยลดอัตราแรงงานและเวลาในการทำงานอีกด้วย

จากการศึกษา กรณีศึกษา บริษัท ลีน่า จำกัด พบว่าทางบริษัทมีการวางแผนที่จะสร้างคลังสินค้า เนื่องจากสำนักงานใหญ่ของบริษัทตั้งอยู่ที่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ตลอดระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา มีการกระจายสินค้าจากคลังจังหวัดสมุทรปราการเพียงจุดเดียว ซึ่งปัจจุบันอัตราการเจริญเติบโตของตัวเมืองต่าง ๆ มีการเติบโตอย่างมาก อีกทั้งคู่แข่งยังมีการพัฒนาด้านการขนส่งสินค้าไปยังหัวเมืองต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว ทำให้ทางบริษัทมีแผนการพัฒนาด้าน Logistic ด้วยมีการเพิ่มรถเล็กไปกระจายสินค้าเพิ่มมากขึ้นและอื่น ๆ อีกมากมาย เพื่อตอบสนองการกระจายสินค้าให้ถึงลูกค้าและลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังรองรับการขยายตัวของเมืองต่าง ๆ และการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) เพื่อทำเป็นจุดกระจายสินค้าให้แก่ลูกค้าทั่วทั้งภาคอีสาน ด้วยเหตุนี้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาถึงปัญหาและอุปสรรค เพื่อจัดหาสถานที่หรือทำเลที่ตั้งสร้างคลังสินค้าที่สามารถจัดเก็บสินค้าเพื่อส่งออกไปยังหัวเมืองต่าง ๆ สามารถเพิ่มโอกาสในการขาย ลดต้นทุนการจัดส่งสินค้า และตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า

วัตถุประสงค์การวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันบริษัท ลีน่า จำกัด มีศูนย์กระจายสินค้าจากคลังเพียงจุดเดียวคือที่โรงงานสมุทรปราการ ทำให้ต้นทุนในการขนส่งสูง เช่น สินค้าบางชนิดหากขนส่งจำนวนน้อยและระยะทางไกลก็จะทำให้สิ้นเปลืองต้นทุนในการขนส่งเพราะมีลูกค้าอยู่ทางภาคเหนือและภาคอีสาน เลยทำให้ผู้บริหารมีการวางแผนที่จะสร้างคลังสินค้าทางภาคเหนือและภาคอีสาน ผู้วิจัยจึงต้องมีการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับทำเลที่ตั้งให้กับทางบริษัท เพื่อทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อนำเสนอทำเลที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมโดยลดต้นทุนการขนส่ง
2. เพื่อเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมของศูนย์กระจายสินค้า
3. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนรวมเกี่ยวกับการขนส่งที่เหมาะสม

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การตัดสินใจเลือกทำเลและสถานที่ตั้ง หมายถึง การหาตำแหน่งที่ตั้งของการผลิต การจัดเก็บและสิ่งอำนวยความสะดวกอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กับการขนส่งและการจัดสรรอัตราค่าคลัง และนอกจากนั้นอาจหมายถึงไปถึงการตัดสินใจในการออกแบบเครือข่ายของโซ่อุปทาน ซึ่งการตัดสินใจในการออกแบบจะมีผลต่อสมรรถนะ และประสิทธิภาพของโครงสร้างในโซ่อุปทาน เพื่อช่วยให้เกิดการลดต้นทุนและเพิ่มการตอบสนองความต้องการให้กับผู้บริโภค

ศูนย์กระจายสินค้าเป็นรูปแบบหนึ่งของคลังสินค้า ที่เชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตกับผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีก โดยทำหน้าที่ในการให้บริการขนส่ง รวบรวม จัดเก็บ จัดเตรียมสินค้า และกระจายสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีก เช่น ให้บริการด้านโลจิสติกส์ ตั้งแต่การขนส่งพื้นฐาน การรับสินค้า การบรรจุหีบห่อ และบริการพิเศษอื่น ๆ ตามต้องการ โดยรวมไปถึงการนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วย เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในการศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้ง กรณีศึกษา ABC จำกัด โดยใช้วิธี Center of Gravity เพื่อวิเคราะห์หาจำนวนคลังสินค้า เพื่อปรับปรุงระบบการขนส่งสินค้า โดยใช้เครื่องมือหาจุดศูนย์กลาง (Center of Gravity) เพื่อ

วิเคราะห์หาตำแหน่งที่ตั้งของคลังสินค้าของแต่ละภาพ เพื่อเป็นตัวเลือกในการคำนวณหาคลังสินค้าที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด

ศึกษาการเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับศูนย์กระจายสินค้า โดยกำหนดปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งกรณีศึกษา บริษัท ยัม เรสเทอรองตส์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด เป็นวิธินาแนวทางเพื่อประเมินค่าการตัดสินใจของทำเลที่ตั้ง ทั้งที่เป็นปัจจัยเชิงปริมาณและปัจจัยเชิงคุณภาพ แต่ละปัจจัยจะมีน้ำหนักหรือความสำคัญที่ต่างกันออกไปดังนี้ ปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุดให้น้ำหนักสูงสุดปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาให้น้ำหนักรองลงมา โดยทั่วไปแล้วน้ำหนักโดยรวมจะเป็น 1 หรือ 100%

ในการศึกษาปัญหาการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท Guinness Ghana Limited ในการวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาจากข้อมูลที่รวบรวม โดยได้จำลองเป็นการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นของรูปแบบการขนส่งและเป็นตัวแทนในภาพของการขนส่ง โดยแก้ไขด้วยโปรแกรม Software เพื่อสร้างแนวทางที่เหมาะสม

สรุปจากการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้นำแนวคิดที่จะนำโปรแกรมมาแก้ไขปัญหาคือใช้เกี่ยวกับคำนวณต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด และเหมาะกับการนำมาใช้ในการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าอีกด้วย โดยไม่กระทบกับระบบงานจริง

3.วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาปัญหาของการกระจายสินค้า
2. เก็บรวบรวมที่เกี่ยวข้องทั้งหมด
3. ศึกษาทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัย
4. การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณระยะทางมาคำนวณกับต้นทุนน้ำมันในการขนส่ง

นน. จมก ระยะ 4 ล้อเลี้ยว		7.56						
น้ำมัน		3						
พื้นที่โลก	นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย
	ระยะทาง	319	434	485	138	244	333	413
ต้นทุนน้ำมัน		1914	2604	2910	828	1464	1998	2478
การนำจำนวนขึ้นกับรถบรรทุก รถกระบะ 1 คัน								
Wireway	210							
ตู้สวิตช์บอร์ด	656							
โคมโรงงาน	158							
ต้นทุนต่อเที่ยว โดยที่จำนวนขึ้นกับรถบรรทุก รถกระบะ 1 คัน								
พื้นที่โลก	นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย
Wireway	0.03600	0.11	12.10	13.86	3.21	6.07	0.51	11.80
ตู้สวิตช์บอร์ด	0.01152	2.92	3.97	4.43	1.26	2.23	3.04	3.70
โคมโรงงาน	0.04800	12.15	16.53	18.48	5.26	9.30	12.69	15.73
Case 2 กรณีต่อจาก Demand 4 ใน 1 ขึ้นด้วย 1 วัน								
Demand	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย	
	Wireway	180	140	140	80	180	140	
	ตู้สวิตช์บอร์ด	52	36	36	40	40	56	40
โคมโรงงาน		280	200	200	240	140	360	180
ต้นทุนต่อเที่ยว โดยที่จำนวนขึ้นตาม Demand ใน 1 วัน ขึ้นรถบรรทุก รถกระบะ 1 คัน								
พื้นที่โลก	นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย
Wireway	0.03600	15.17	23.08	25.27	10.40	22.78	15.58	22.18
ตู้สวิตช์บอร์ด	0.01152	38.24	54.60	54.60	49.29	49.29	35.61	49.29
โคมโรงงาน	0.04800	12.82	15.55	15.55	13.95	19.65	11.30	16.61
จำนวนรถที่ใช้บรรทุกสินค้าตาม Demand ต่อ วัน								
พื้นที่โลก	นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย
Wireway	0.03600	6.48	5.04	5.04	5.04	2.88	6.48	5.04
ตู้สวิตช์บอร์ด	0.01152	0.60	0.41	0.41	0.46	0.46	0.65	0.46
โคมโรงงาน	0.048	13.44	9.60	9.60	11.52	6.72	17.28	8.64
รวม ต่อวัน		20.52	15.05	15.05	17.02	10.06	24.41	14.14
จ.ร.ก		2.71	1.99	1.99	2.25	1.33	3.23	1.87
ประมาณ จ.ร.ก		3.00	2.00	2.00	3.00	2.00	4.00	2.00

นน. รอกกระบะ 4 ล้อเล็ก		7.56						
น้ำฝน		3						
สมุทราการ	นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย
	ระยะทาง	478	594	644	455	628	725	814
ต้นทุนน้ำฝน		2868	3564	3864	2720	3768	4320	4834
Case ความต้องการ Demand จำนวนชั้นต่อ 1 วัน								
Demand	Wireway	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่	เชียงราย
	ตู้สวิตบอร์ด	180	140	140	140	80	180	140
	โคมโรงงาน	52	36	36	40	40	56	40
		280	200	200	240	140	360	180
ต้นทุนต่อเที่ยว โดยที่จำนวนชั้นตาม Demand ใน 1 วัน ที่บรรทุกต่อ รอกกระบะ 1 คัน								
สมุทราการ		นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่
		นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่
Wireway		0.03600	16	25	28	20	47	35
ตู้สวิตบอร์ด		0.01152	55	99	107	68	94	122
โคมโรงงาน		0.04800	10	18	19	11	21	21
จำนวนรถที่ใช้บรรทุกสินค้าตาม Demand ต่อ วัน								
สมุทราการ		นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่
		นน	ขอนแก่น	อุดรธานี	หนองคาย	แม่สอด	ลำปาง	เชียงใหม่
Wireway		0.03600	6.48	5.04	5.04	5.04	2.88	5.48
ตู้สวิตบอร์ด		0.01152	0.60	0.41	0.41	0.46	0.65	0.46
โคมโรงงาน		0.04800	13.44	9.60	9.60	11.52	6.72	17.28
		จำนวนรถ	20.52	15.05	15.05	17.02	10.06	24.41
		จำนวนรถ	2.71	1.99	1.99	2.25	1.33	3.23
		ประมาณ จำนวนรถ	3.00	2.00	2.00	3.00	2.00	4.00

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมด้วยวิธีการ Center of Gravity

ลำดับ	จังหวัด	อำเภอ	ที่ตั้ง(x_i, y_i)		ปริมาณความต้องการ		
			x_i	y_i	Wireway	ตู้สวิตบอร์ด	โคมโรงงาน
1	เชียงใหม่	เมืองเชียงใหม่	18.7877483	98.9931303	4,500.00	1,400.00	9,000.00
2	เชียงราย	เมืองเชียงราย	19.899126	99.816447	3,500.00	1,000.00	4,500.00
3	ลำปาง	ลำปาง	18.29323	99.480745	2,000.00	1,000.00	3,500.00
4	ตาก	แม่สอด	16.713865	98.574496	3,500.00	1,000.00	6,000.00
5	ขอนแก่น	เมืองขอนแก่น	16.442097	102.836163	4,500.00	1,300.00	7,000.00
6	อุดรธานี	เมืองอุดร	17.414002	102.786888	3,500.00	900.00	5,000.00
7	หนองคาย	เมืองหนองคาย	17.878277	102.740748	3,500.00	900.00	5,000.00

ขั้นตอนที่ 3 การนำปัจจัยในด้านต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ามาให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละพื้นที่เป้าหมาย โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ที่จะเลือกเป็นศูนย์กระจายสินค้า ตามวิธี Factor Rating

หัวข้อในการประเมิน	ค่าน้ำหนัก	พิษณุโลก	สุโขทัย	พิจิตร
การขนส่ง	0.3	27	27	23
การคมนาคม	0.2	18	17	16
สิ่งอำนวยความสะดวก	0.3	28	26	23
สิ่งแวดล้อม	0.2	18	16	15
คะแนนรวม		91	86	77

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์การคำนวณต้นทุนในการขนส่งเพื่อหาต้นทุนที่เหมาะสมที่สุด และนำมาเลือกศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม

1. การขนส่งสินค้าจากโรงงานสมุทรปราการไปหาลูกค้าจังหวัดขอนแก่น

SAMPLE TRANSPORTATION PROBLEM						
	ขอนแก่นW	ขอนแก่นS	ขอนแก่นL	DUMMY	SUPPLY	
โรงงานW	16	.	.	XXXX	100000	
โรงงานS	.	55	.	XXXX	100000	
โรงงานL	.	.	10	XXXX	100000	
DUMMY	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
DEMAND	4500	1300	7000	XXXX	XXXX	

2. การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าพิษณุโลกไปหาลูกค้าจังหวัดขอนแก่น

Transportation : Ad-kk						
Untitled1						
	ขอนแก่นW	ขอนแก่นS	ขอนแก่นL	DUMMY	SUPPLY	
พิษณุโลกW	15.12	.	.	XXXX	50000	
พิษณุโลกS	.	38.24	.	XXXX	50000	
พิษณุโลกL	.	.	12.82	XXXX	50000	
DUMMY	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	
DEMAND	4500	1300	7000	XXXX	XXXX	

ตารางสำหรับแก้ปัญหาเรื่องขนส่ง จะมีส่วนประกอบที่สำคัญๆ ดังนี้คือ ต้นทาง ปลายทาง ค่าขนส่งในแต่ละเส้นทาง และ Demand ของลูกค้าที่มีต่อสินค้าแต่ละชนิด ผลรวมของจำนวนสินค้าที่ปลายทางแต่ละแห่งสามารถรับไว้ได้(Supply)

4. ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาด้วยวิธี Center of Gravity พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ตำแหน่ง Longitude = 17.918335 และ Latitude = 100.7469 ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งได้เป็นอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ จากตำแหน่งของจุดที่เหมาะสมเพื่อตั้งศูนย์กระจายสินค้าบริเวณอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ พบว่าพื้นที่โดยส่วนมากเป็นลุ่มแม่น้ำ ซึ่งไม่เหมาะสมกับธุรกิจ จึงทำให้มีการขยายขอบเขตพื้นที่ออกไปอีก 50-160 กิโลเมตร จากตำแหน่งที่ได้จากวิธีการคำนวณสถานที่ตั้งของ Center of Gravity จากขอบเขตข้างต้นผู้ศึกษาได้ทำการกำหนดพื้นที่ที่เหมาะสมในเบื้องต้น โดยพิจารณาจากลักษณะของโครงสร้างพื้นฐานเป็นหลัก เช่น ถนน เป็นหลัก โดยสามารถสรุปได้เป็น 3 พื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้านี้ สุโขทัย, พิษณุโลก และ พิจิตร

จากศึกษา Factor Rating จะได้พื้นที่ในจังหวัด พิษณุโลก ที่ได้คะแนนมากที่สุดคือ โดยจะมีผลการคำนวณจากการวิเคราะห์ Transportation Problem มีดังนี้

Process Monitor

SAMPLE TRANSPORTATION PROBLEM
TRANSPORTATION - OPTIMAL SOLUTION - TABLEAU OUTPUT

	COLUMN 1	COLUMN 2	COLUMN 3	Dummy	U(I)\SUPPLY
RCW 1	16.000 4500	-	-	0.000 95500	0.000 100000
RCW 2	-	55.000 1300	-	0.000 98700	0.000 100000
RCW 3	-	-	10.000 7000	0.000 93000	0.000 100000
V(J) DEMAND	16.000 4500	55.000 1300	10.000 7000	0.000 287200	

Total Cost = 213500.0000

Next Fast Forward Cancel

ผลลัพธ์ Total cost จากโรงงานสมุทรปราการไปยังลูกค้าจังหวัดขอนแก่น

Process Monitor

Untitled1
TRANSPORTATION - OPTIMAL SOLUTION - TABLEAU OUTPUT

	COLUMN 1	COLUMN 2	COLUMN 3	Dummy	U(I)\SUPPLY
RCW 1	15.120 4500	-	-	0.000 45500	0.000 50000
RCW 2	-	38.240 1300	-	0.000 48700	0.000 50000
RCW 3	-	-	12.820 7000	0.000 43000	0.000 50000
V(J) DEMAND	15.120 4500	38.240 1300	12.820 7000	0.000 137200	

Total Cost = 207492.0000

Next Fast Forward Cancel

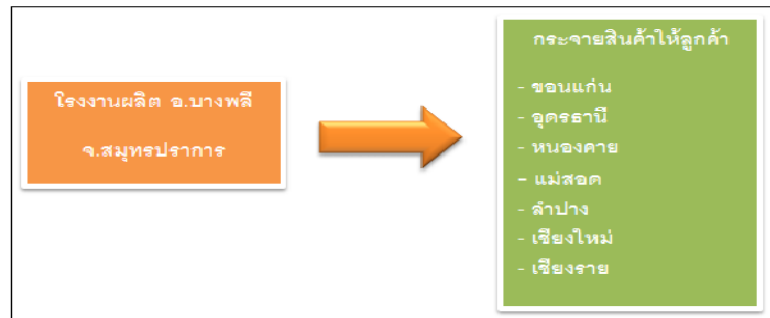
ผลลัพธ์ Total cost จากศูนย์กระจายสินค้าพิษณุโลกไปยังลูกค้าจังหวัดขอนแก่น

จากผลลัพธ์ แสดงให้เห็นว่าการขนส่งสินค้าทั้ง 3 ชนิด จากโรงงานสมุทรปราการไปหาลูกค้าที่ขอนแก่น ใช้ต้นทุนในการขนส่ง 231,500 บาท, จากศูนย์กระจายสินค้าพิษณุโลก ไปหาลูกค้าที่ขอนแก่น ใช้ต้นทุนการขนส่งทั้งหมด คือ 207,492

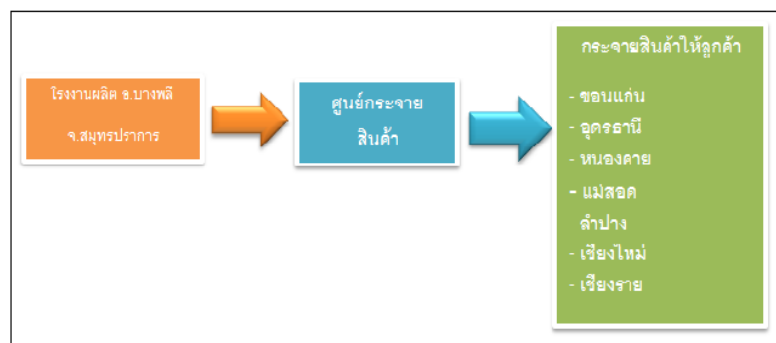
5. สรุปผลและอภิปรายผลวิจัย

สรุปผลวิจัย

โครงสร้างการกระจายสินค้า/ขนส่งของ บริษัท Leena จำกัด



ภาพที่ 5.1 รูปแบบการขนส่งสินค้าเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคอีสานแบบเก่า



ภาพที่ 5.2 รูปแบบการขนส่งสินค้าเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคอีสานแบบใหม่

จากระบบเดิมที่บริษัทมีอยู่ คือ เมื่อจะต้องจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทางบริษัทจะต้องขนส่งสินค้าจากโรงงานโดยตรง โดยมีต้นทุนในการขนส่งอยู่ที่ 213,500 แต่เมื่อมีการสร้างคลังสินค้าขึ้นมาใหม่ในจังหวัดพิษณุโลก เพื่อกระจายสินค้าให้กับลูกค้าในทางภาคเหนือและภาคอีสานต้นทุนในการขนส่งต่ำลงมาจากเดิม คือ 207,49 เพราะฉะนั้นการสร้างคลังสินค้าเพื่อเป็นตัวกระจายสินค้าขึ้นมาใหม่สามารถลดต้นทุนการขนส่งจากเดิมได้ดี

อภิปรายผลวิจัย จากการที่ได้จัดการขนส่งโดยคำนวณต้นทุนในการส่งและได้นำมาเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนการขนส่งโดยตรงจากโรงงานสมุทรปราการไปยังลูกค้า กับต้นทุนการขนส่งในการกระจายสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าในตำแหน่งพื้นที่เลือกไว้ ซึ่งผลของการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งนั้นสามารถนำมาเสนอข้อมูลเพื่อสนับสนุนในการตัดสินใจเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าได้

6. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่า ความต้องการข้อมูลของผู้วิจัยกับข้อมูลที่ได้มาอาจจะไม่ตรงกันมาก เลยทำให้ต้องมีการถ่วงรอนข้อมูลใหม่เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการและนำมาใช้กับเครื่องมือได้ดี ทำให้การวิจัยไม่สำเร็จตามเวลาที่กำหนดไว้ เพราะฉะนั้นในการศึกษาครั้งต่อไปจะต้องบอกรายละเอียดและความชัดเจนในการขอข้อมูล

มากกว่านี้ เพื่อที่จะได้รับข้อมูลที่ถูกต้องที่สุด ไปศึกษาวิจัย และการค้นหาข้อมูลในการแก้ไข ปรับปรุงในครั้งต่อไป

7. รายงานเอกสารอ้างอิง

ปวีณา เสนาเก่า. 2554. การวิเคราะห์ต้นทุนของกระบวนการขนส่งสินค้า. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

วันชัย รัตนวงษ์. 2554. ต้นทุนการขนส่งด้วยรถบรรทุก. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
 นิติพล เกื้อกูล. 2550. การจัดการบริการโดยผู้เชี่ยวชาญในกิจกรรมโลจิสติกส์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

จิระเดช ดิษฐ์อำไพ. 2554. ความหมายของโลจิสติกส์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยศรีปทุม

น้ำฝน พุฒิสันติกุล. 2553. ต้นทุนโลจิสติกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุทิศา สรรพกิจไพศาล. 2550. กลยุทธ์การวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งคลังสินค้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา

สุสิริกาญจน์ ปองทอง. 2547. กลยุทธ์การวิเคราะห์ทำเลที่ตั้งคลังสินค้า. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยศรีปทุม

กุลดา กิจสวัสดิ์. 2554. ทฤษฎีแหล่งที่ตั้ง. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

สมใจ คิด้รุ่งเรือง. 2546. แนวคิดการเลือกทำเลที่ตั้งโดยนัยต้นทุนต่ำสุด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

นิกร ศิริวงศ์ไพศาล และเสกสรร สุธรรมานนท์. 2554. ตัวแบบสำหรับศึกษาการกระจายสินค้า. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ตำราญ บุญเจริญ. 2554. **TRANSPORTATION MODELS**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง, มหาวิทยาลัยภาคกลาง
 จินตนา แซ่ฉั่ว. 2554. วิเคราะห์ทำเลที่ตั้งและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

การใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เพื่อหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุด

กรณีศึกษา: กิจการรับซื้อขายของเก่า

FINDING THE SHORTEST DISTANCE BY GENETIC ALGORITHMS

CASE STUDY: WASTE BUSINESS

พรธิตา ฉลาดล้ำ

สาขาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : Pohnthitac@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุดของกิจการรับซื้อ-ขายของเก่าของชุมชนแออัด กากแก้วโดยนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาประยุกต์ใช้ การเก็บข้อมูลจากกิจการ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล ทำการวิเคราะห์กิจกรรมตามกระบวนการทำงานของกิจการรับซื้อขายของเก่า ซึ่งเน้นการวิเคราะห์การขนส่ง จำนวนจากเส้นทางทางวิ่งรถ 10 สถานี โดยสร้างโครโมโซมลูกจากโครโมโซมพ่อแม่ที่ยกตัวอย่างมา จากผลการศึกษาพบว่า ระยะเส้นทางที่สั้นที่สุดคือ 16.1 กิโลเมตร สรุปผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุดได้ โดยมีข้อจำกัดคือ ไม่คำนึงถึงสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น สภาพการจราจร สภาพอากาศ และอุบัติเหตุ ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อใช้กับกิจการรับซื้อขายของเก่าในอนาคต

คำสำคัญ: กิจการรับซื้อขายของเก่า; วิธีเชิงพันธุกรรม

ABSTRACT

This paper aim to find the shortest route of waste business applied the Genetic Algorithms. First, collected data from the business and analyzing the data this Activity-based on the process analysis (Flowchart) of the business. Their child's by analyzing 10 routes of logistics. The study created parent's chromosome crossover to their children's chromosome. The shortest distance was 16.1 km. So the result was possible in finding the shortest route distance without limitation or other conditions, including traffic jam, weather and accident. The information can be used to develop the database for the business in the future.

KEYWORDS: waste business; Genetic Algorithm

วัตถุประสงค์

เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางของกิจการ เพื่อนำวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาประยุกต์ใช้กับกิจการ เพื่อพัฒนาให้เกิฐานข้อมูลของกิจการซื้อขายของเก่า

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุด ได้การจัดระยะทางเดินทางที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และได้ฐานข้อมูลการเดินทางมาใช้กับกิจการ

สมมติฐานของงานวิจัย

สมมติฐานของงานวิจัย นำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาใช้ในการหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุด ซึ่งค่าที่จะได้นั้นเป็นค่าที่ดี แต่ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุด

ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัย เป็นการหาระยะทางการเดินทางของกิจการรับซื้อขายของเก่า โดยเลือกใช้วิธีเชิงพันธุกรรม มาใช้ในการหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุด โดยไม่คำนึงถึงการจราจรที่อาจจะมีผลต่อการเดินทาง

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP)

ธรินี มณิศรี (2552) ได้กล่าวว่า ในกรณีที่มีรถขนส่งคันเดียว ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) เปรียบเสมือนปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) ซึ่งในทางทฤษฎีพิสูจน์แล้วว่าเป็นปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-complete) หรือเป็นปัญหาที่สามารถแก้ไขได้แต่ยากมาก ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) ที่เป็นอิสระต่อกันในหลายเส้นทางถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งมีกฎว่า รถขนส่งที่มีอยู่อย่างจำกัดต้องออกจากคลังไปส่งให้ลูกค้า ครบทุกจุดแล้วกลับมายังคลังทุกครั้ง ถือว่าเป็นปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-complete) ซึ่งเป็นปัญหาที่แก้ไขได้ยาก

กมล ลิ้มธัญญกุล (2554) ได้ศึกษาการวางแผนเส้นทางเดินทางขนส่งแบบขึ้นกับระยะเวลาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยคำนวณจากระยะทางระหว่างตำแหน่งของร้านและศูนย์กระจายสินค้า และใช้ข้อมูลการจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร เพื่อหาเส้นทางเดินทางรวมที่สั้นที่สุด แต่เมื่อใช้เส้นทางที่สั้นที่สุดอาจจะไม่คุ้มกับเวลาและความล่าช้าที่เสียไป โดยได้นำการใช้อัลกอริทึมมาช่วยหาเส้นทางที่ดีที่สั้นขึ้นกับเวลา และเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง เพื่อให้ระยะเวลารวมนี้น้อยที่สุด ผลที่ได้จะมีประสิทธิภาพมากเมื่อได้ใช้กับเส้นทางที่ใช้เวลาการเดินทางน้อย แม้จะต้องเดินทางไกล แต่สามารถกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้าก่อนและส่งมอบสินค้าได้ตรงเวลา ซึ่งแสดงว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายขนาดและแก้ไขปัญหในการดำเนินงานได้อย่างรวดเร็ว แต่ความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของข้อมูลจราจรนั้นยังมีข้อจำกัด และจะต้องได้รับการพิจารณาตามสถานการณ์

กิตติเดช วงศ์ศักดิ์ และเกียรติศักดิ์ โยชนะนัง (2554) ได้ทำการศึกษาระบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองโดยใช้ขั้นตอนวิธีระบบมด โดยนำวิธีระบบมด (Ant Colony Algorithm) มาเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางเดินทางที่เหมาะสม แม้ว่าเส้นทางนั้นจะเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด แต่ไม่ได้หมายความว่า จะเป็นเส้นทางที่ดีเสมอไป ซึ่งระบบสามารถค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดและเส้นทางรอง โดยระบุระยะทางเฉลี่ยจากต้นทางไปยังปลายทางและแสดงเส้นทางลงบนแผนที่ซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการเดินทาง ค่าใช้จ่ายและลดปัญหาการจราจรที่ติดขัดได้อีกด้วย ซึ่ง พบว่าผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์มีความพึงพอใจในโปรแกรมเนื่องจากระบบสามารถประมวลผลและแสดงผลลัพธ์ได้ตรงตามความต้องการ ส่วนกลุ่มผู้ใช้งานทั่วไปมีความพึงพอใจในโปรแกรม อยู่ในระดับดี ผลจากการศึกษาระบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองโดยใช้ขั้นตอนวิธีระบบมดความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดี

กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ อภิชาติ มณีงาม และ อภินันทนา อุดมศักดิ์กุล (2556) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เซฟวิงอัลกอริทึมในปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งอัญมณี ซึ่งมีรถขนส่งสินค้าหลายประเภท และพิจารณาเงื่อนไขการจำกัดเวลาเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ในเขตเมือง เพื่อให้ได้เส้นทางเดินรถที่มีต้นทุนการขนส่งรวมต่ำที่สุด โดย ขั้นตอนที่หนึ่งจัดกลุ่มลูกค้าตามพื้นที่โดยแบ่งเป็นกลุ่มลูกค้าในกรุงเทพฯ และกลุ่มลูกค้าในต่างจังหวัด ขั้นตอนที่สอง เลือกประเภทรถขนส่งให้เหมาะกับพื้นที่ในการขนส่ง โดยพิจารณาเงื่อนไขช่วงเวลาในการเดินรถ และขั้นตอนที่สามประยุกต์ใช้วิธีเซฟวิงอัลกอริทึมในการจัดเส้นทางเดินรถ พบว่าสามารถลดต้นทุนและระยะทางรวมลดลง

ชุลีกร ชนะสิทธิ์และสรวิชัย เยาวสุวรรณไชย (2556) ได้ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการด้านธุรกิจขนส่งสินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อลดระยะทางในการเดินรถขนส่งสินค้า โดยได้ทำการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Google map) ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของกลุ่มลูกค้าเพื่อความแม่นยำในการคำนวณ และได้เลือกใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) ของแนวคิดการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก (Heuristics) เพื่อนำมาสร้างรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (TSP) และแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP) ผ่านโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) โดยการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ TSP-NNH และแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt และผลที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าแบบ TSP-NNH สามารถลดระยะทางได้ดีกว่าการจัดเส้นทางเดินรถแบบเดิม และจากการปรับปรุงเส้นทางแบบ VRP-NNH ด้วยวิธี 2-opt และ 3-opt สามารถลดระยะทางได้ดีกว่าการจัดเส้นทางแบบ VRP-NNH ซึ่งการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้านั้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าบริษัทกรณีศึกษาได้

เมตาฮิวริสติกส์ (Meta - heuristic)

ธรณี มณีศรี (2552) ได้กล่าวว่า วิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta - Heuristic) นั้นคือ วิธีฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาและดัดแปลงให้สามารถหาผลการตัดสินใจของปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมากและแก้ไขได้ยากให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลลัพธ์

ระพีพันธ์ ปิตะกะโส (2554) ได้กล่าวว่า หลักการของเมตาฮิวริสติก มีระเบียบวิธีในการหาคำตอบภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เป็นการหาคำตอบที่ใกล้เคียงหรือดีที่สุดในช่วงเวลาอันสั้น ซึ่งเป็นการประมาณคำตอบ มีทั้งแบบไม่ซับซ้อน เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) หรือแบบซับซ้อน หรืออาจรวมหลายๆ เทคนิค ซึ่งมีขั้นตอนแน่นอน แต่การใช้ระดับทัศนคติมาตัดสินใจแก้ไขปัญหามักไม่เหมือนกัน สามารถแก้ไขได้หลากหลายปัญหา

การขนส่ง (Transportation)

ศาสตราจารย์ (พิเศษ) ประมวล (2555) ได้กล่าวว่า การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบกับการบริหารจัดการ Logistics Multimodal Transport เป็นรูปแบบการขนส่งระหว่างประเทศที่ช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดต่อขนส่ง โดยใช้รูปแบบการขนส่งตั้งแต่สองรูปแบบขึ้นไปที่อยู่ภายใต้สัญญาเดียว โดยผู้ขนส่งรับผิดชอบตลอดการขนส่งตามสัญญา เพื่อการเคลื่อนย้ายสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ

วัฒนวงศ์ (2545) ได้กล่าวว่า การขนส่ง คือ การเคลื่อนย้ายวัตถุต่างๆ จากสถานที่หนึ่งไปยังสถานที่หนึ่ง โดยไม่เกิดความเสียหาย การขนส่งเป็นการเชื่อมโยงสิ่งต่างๆ เข้าไว้ด้วยกันจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาทางสังคมและเศรษฐกิจ และได้อธิบายบทบาทของการขนส่ง สำคัญยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ เมื่อสังคมขยายตัวความต้องการในด้านต่างๆ ก็เพิ่มขึ้น การขนส่งต้องมีประสิทธิภาพ บทบาทของการขนส่งที่มีต่อสังคมในด้านการยกระดับคุณภาพชีวิต ช่วยอำนวยความสะดวกต่อสังคม ช่วยเชื่อมโยงให้เป็นเครือข่ายเดียวกัน ทำให้สามารถสื่อสารติดต่อได้ง่ายและรวดเร็ว

นิลบล (2549) ได้กล่าวว่า กลยุทธ์ในการปฏิบัติงานการจัดการด้านการขนส่งสินค้า ช่วยให้การบริหารได้รวดเร็ว ประทับใจลูกค้า ลดต้นทุนและเพิ่มศักยภาพการแข่งขัน ส่งผลให้องค์กรมีประสิทธิภาพ องค์กรสามารถลดต้นทุนในการจัดส่งสินค้าได้ด้วยการจัดเส้นทางขนส่งให้เกิดประสิทธิภาพ (Optimize routing) หลายองค์กรตัดสินใจซื้อโปรแกรมมาใช้ในการจัดเส้นทางเพื่อลดต้นทุนในระยะยาว การรวมการจัดการขนส่ง และการจัดการคลังสินค้า (Integrating the warehousing and transport function) เชื่อมโยงระบบเข้าด้วยกัน เพื่อให้การทำงานในส่วนคลังสินค้า และการส่งสินค้าสอดคล้องกัน ทำให้เห็นภาพรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Cross docking เป็นการรับและส่งในช่วงเวลาเดียวกัน โดยจัดส่งสินค้าผ่านศูนย์กระจายสินค้าเป็นการลดพื้นที่ในการจัดเก็บ

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm – GA)

Edwin K.P. Chong และ Stanislaw H. Zak (2539) ได้กล่าวว่า Genetic Algorithm ได้รับแรงบันดาลใจจากพันธุกรรมธรรมชาติ โดยเฉพาะแนวคิด “ผู้เหมาะสมที่สุดเท่านั้นที่จะอยู่รอด” เป็นบทบาทสำคัญกลไกที่ใช้เป็นหลักในการจำลองของ GA เริ่มด้วยประชากรของโครโมโซม และเลือกผู้เหมาะสมมาเพื่อถอดแบบเพื่อสร้างเป็นรุ่นใหม่ โดยการรวมข้อมูลที่เข้ารหัส ซึ่งเป้าหมายคือ สมาชิกที่เหมาะสมที่สุดของประชากรที่อยู่รอด และเนื้อหาข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวม ในการผลิตรุ่นต่อไปจะดีขึ้น ในการวิเคราะห์ขั้นตอน Genetic Algorithm ในเชิงคุณภาพตามสมมุติฐาน ต้องกำหนดเงื่อนไข เพื่อความสะดวกจะพิจารณาโครโมโซมมากกว่าตัวอักษรไบนารี ซึ่งใช้แนวความคิด Schema ซึ่งเป็นชุดโครโมโซมที่มีคุณสมบัติทั่วไปโดยเฉพาะ Schema เป็นชุดโครโมโซมที่มี 1 และ 0 เช่น

รูปแบบ 1*01 สามารถเขียนในรูปแบบ Schema เป็น {1001,1101}

พงศกร แดงทรัพย์ (2553) ได้ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่เข้ารหัสด้วยอัลกอริทึม LZW ด้วยทฤษฎีเคิร์วาง ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm – GA) เป็นวิธีในทางปัญญาประดิษฐ์ เป็นการสร้างรูปแบบทางชีววิทยาเลียนแบบวิธีทางพันธุกรรมเพื่อใช้หาคำตอบในกลุ่มประชากร การหามีลักษณะเป็นแบบสุ่ม เพื่อให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมหาคำตอบได้ดีขึ้นจึงมีการพัฒนาเทคนิคต่างๆ เช่น Lempel-Ziv-Welch Genetic Algorithm (LZWGA) พัฒนาการเข้ารหัสโครโมโซมด้วยอัลกอริทึม ทฤษฎีเคิร์วางของ Holland ที่ปรับแต่งเคิร์วางให้เข้าคู่ได้กับโครโมโซม LZWGA สามารถใช้วิเคราะห์ LZWGA แต่ผลที่ได้บอกเพียงผลของค่าคาดหวังที่พบจำนวนโครโมโซมที่เข้าคู่ได้กับเคิร์วางในแต่ละรุ่น เพราะการบีบอัดโครโมโซมจากโครโมโซม GA ปกติจะได้โครโมโซมแบบ LZW แต่เมื่อทำการตรวจสอบค่าความเหมาะสมต้องคลายโครโมโซม LZW ให้กลายเป็นรูปแบบ GA ปกติ และค่าความคาดหวังใช้ค่าความเหมาะสมเป็นตัวแปรในการคำนวณ โครโมโซม LZW จึงไม่มีผลกระทบกับค่าคาดหวัง แสดงให้เห็นว่าค่าความคาดหวังของ Holland สามารถใช้ได้กับ LZWGA ด้วยและให้ผลความแม่นยำเท่ากับค่าความคาดหวังของ GA เดิม

Jizhong Zhu (2553) ได้กล่าวว่า วิธีการแก้ไขปัญหการจัดการขนส่งทางเศรษฐกิจคือ General Algorithm (GA) รากฐานของทฤษฎีสำหรับ General Algorithm ถูกอธิบายครั้งแรก โดย Holland และถูกเพิ่มเติมโดย Goldberg General Algorithm หาคำตอบปัญหาโดยทำงานร่วมกับตัวแทนของจำนวนประชากรของการแก้ปัญหาที่สามารถเป็นไปได้ การแก้ปัญหาแต่ละเงื่อนไขเรียกว่า โครโมโซม จุดใหม่ของพื้นที่ถูกสร้างผ่านขั้นตอน General Algorithm เรียกว่าเป็น reproduction, crossover, และ mutation ถ้าใช้อย่างต่อเนื่องจะได้ผู้รอดที่เหมาะสมในรุ่นต่อไป ซึ่งการดำเนินจะนำทั้งผลนำไปสู่สิ่งที่ดี

Crossover ถูกนำไปใช้กับความน่าจะเป็นที่แน่นอน รุ่นพ่อแม่จะรวมกันแล้วได้รุ่นใหม่ที่สืบทอดลักษณะมา และไม่สามารถสร้างข้อมูลที่ไม่มีอยู่ในประชากรได้

Mutation Operator ถูกนำไปใช้กับความน่าจะเป็น จะสุ่มเลือกจากลูกหลานจีโนไทป์ โดยสลับ 0 และ 1 ในทางกลับกันจะได้ผลไม่เหมือนกับรุ่นพ่อแม่

Elitism จะดำเนินการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด โดยจะลอกไปสู่รุ่นถัดไป ขั้นตอนทางพันธุกรรมจะถูกตัดไป

Fitness scaling อธิบายการเปลี่ยนแปลงไม่เชิงเส้นของ Genotype fitness เพื่อจะเน้นความแตกต่างเล็กน้อยระหว่าง ผลลัพธ์ที่ดีที่มีคุณภาพในจำนวนประชากร

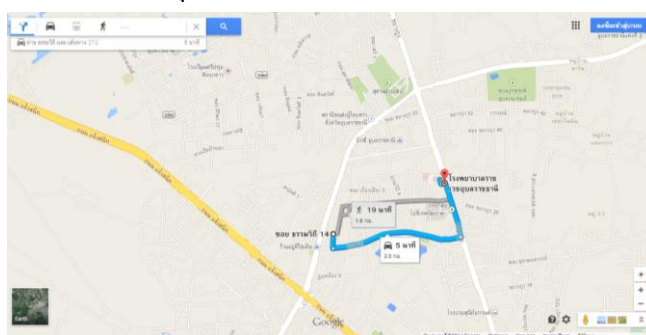
กิตติพงศ์ บุญโล่ง (2554) ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง โดยได้นำ MOGA 3 ชนิดคือ NSGA-II, SPEA-II และ COGA-II มาทดลองกับปัญหาวัตถุประสงค์หลายอย่างมาตรฐาน DTLZ2 และ DTLZ6 ที่มีวัตถุประสงค์ 3-6 อย่าง การทดลองพบว่า MOGA ทั้งสามสามารถแก้ปัญหาที่มีวัตถุประสงค์ 3 อย่างได้เป็นอย่างดี COGA-II ดีกว่า NSGA-II และ SPEA2 ปัญหาที่มีวัตถุประสงค์ 4 อย่างขึ้นไป NSGA-II และ SPEA2 แก้ปัญหาที่มี 5 วัตถุประสงค์ขึ้นไปไม่ได้ดี ส่วน COGA-II แก้ปัญหาได้ไม่ดีมาก จากการทดลองแสดงถึงข้อจำกัดของ MOGA ที่มีอยู่ในปัจจุบัน จำเป็นต้องมีการพัฒนาเพื่อปัญหาที่มีวัตถุประสงค์จำนวนมากต่อไป โดยเฉพาะปัญหาที่มี 5-6 วัตถุประสงค์ จำนวนครั้งของการฟังก์ชันมากขึ้น แต่คำตอบที่ได้แยกว่าคำตอบแรกที่ได้จากการสุ่ม แสดงให้เห็นถึงจุดอ่อนหนึ่งของสำหรับ MOGA

อุดม จันทรจิรัสสุข (2554) ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง โดยศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางรับส่งพนักงานของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางจัดอยู่ในปัญหาประเภท NP-complete ซึ่งมีความสำคัญในระบบการขนส่งและโลจิสติกส์ โดยได้นำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมวิวัฒนาการสายพันธุ์วิธีและใช้วิธีการสายพันธุ์โดยการสับคู่แบบสุ่มมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาและได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อการจัดเส้นทางเดินทางโดยใช้ภาษา C++ ซึ่งวิธี PMX นั้นสามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมได้ดีกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยมีค่าใช้จ่ายที่ลดลง และได้นำเสนอทางเลือกใหม่ 2 ทางโดยลดจำนวนรถรับส่งและเปลี่ยนจากเป็นรถตู้

สุนิสา ริมเจริญ (2555) ได้ทำการศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบกระชับและการประยุกต์ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบเดิมต้องอาศัยประชากรจำนวนมากเพื่อหาคำตอบ และต้องการฮาร์ดแวร์ที่มีความสามารถในการประมวลผลค่อนข้างสูง การใช้ฮาร์ดแวร์ขนาดเล็กจึงเป็นเรื่องยาก เนื่องจากวิธีเชิงพันธุกรรมแบบกระชับใช้วิธีการแทนโครงสร้างของประชากรด้วยเวกเตอร์ความน่าจะเป็นที่แจกแจงความน่าจะเป็นของคำตอบ จึงใช้หน่วยความจำน้อยที่สุดในการเก็บตัวอย่างคำตอบที่เป็นไปได้ มีการพิสูจน์จากงานวิจัยว่าขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบกระชับมีพฤติกรรมที่สามารถเทียบเคียงได้กับพฤติกรรมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายที่ใช้การไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูป แต่ใช้หน่วยความจำที่น้อยกว่า จากวิจัยสรุปไปในทิศทางเดียวกันถึงขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบกระชับนั้นสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของคำตอบได้เป็นที่น่าพอใจ การทำงานกระชับและไม่ซับซ้อน

ระเบียบวิธีการวิจัย

หาระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานที่ต่างๆ ทั้งหมด 10 แห่ง โดยใช้ Google Maps สถานที่ตัวอย่างทั้ง 10 แห่งนั้น เป็นการเลือกจากสถานที่ที่กิจการรับซื้อขายของเก่านั้นไปรับซื้อขายบ่อยครั้ง และเลือกเส้นทางที่รถสามารถวิ่งได้จริง เมื่อได้ระยะทางของสถานที่ทั้ง 10 แห่ง แล้ว นำข้อมูลมาสร้างเป็นตารางใน Microsoft Excel เพื่อคำนวณหาเส้นทางเดินทางที่สั้นที่สุด



ภาพที่ 3.1 ใช้ Google Maps เพื่อหาระยะทาง

สมการเป้าหมาย

เพื่อหาค่าน้อยที่สุด ในช่วงคำตอบที่หา

n แทนค่าจำนวนจุดที่จะไปส่งสินค้า

j แทนค่าระยะทางจากสถานที่ตัวอย่างที่ 1 ถึง 10

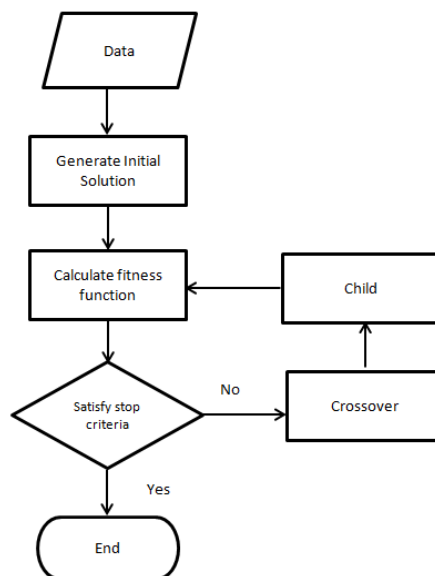
D แทนค่าระยะรวม

i แทนค่าระยะทางจากสถานที่ตัวอย่างที่ 1 ถึง 10

d แทนค่าระยะระหว่าง ij

$i =$ จำนวนจุด , $i=1,2,3,...$

การเรียงจำนวน node = $\sum_{i=1}^n n_i$ $i=1,2,3,4,5\dots n$ $j=1,2,3,4,5\dots n$
 $\bar{D} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1+1}^n d_{ij} = D = d_{12} + d_{23} + d_{34} + d_{45}$ ต้องการให้โปรแกรมหยุดเมื่อ $n \geq 500$



ภาพที่ 3.4 Flowchart Algorithm

การวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

การนำโครโมโซมสองตัวมาผลิตรุ่นลูกนั้นเป็นการเลียนแบบทางชีวะ ซึ่งเรียกว่า ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ทำการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อแม่ ซึ่งปัญหานี้ต้องการแก้ไขในสถานที่ทั้งสิบจุดที่ได้เลือกมา ซึ่งจำนวนลูกที่จะได้มานั้นมีถึง 10! หรือเท่ากับ 3,628,800 ค่า การคัดเลือกโครโมโซม เพื่อให้สามารถเข้าใกล้กับคำตอบมากที่สุด แต่ใช้เวลานานในการหาคำตอบ เนื่องจากมีคำตอบมาก หลังจากการเลือกโครโมโซมที่มีความเหมาะสมแล้ว ใช้โครโมโซมเหล่านี้ในการสร้างโครโมโซมรุ่นต่อไป โดยใช้การแลกเปลี่ยนยีน (Cross over) โดยจะทำการคัดเลือกโครโมโซมออกมาเป็นคู่แล้วทำการ Cross over ทำให้ได้โครโมโซมที่แตกต่างจากโครโมโซมเดิมและยังมีคุณภาพเฉลี่ยที่ดีขึ้นอีกด้วย เนื่องจากต้องการเราสามารถเก็บค่าที่ดีที่สุดได้ ทำขั้นตอนซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงเงื่อนไขในการจบการทำงานโดยจะให้คำนวณถึงโครโมโซมลูกที่ 500 และเลือกคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด จึงเลือกการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการศึกษา ระยะทางระหว่างสถานที่ต่างๆ สามารถดูระยะทางแต่ละสถานที่ได้จากตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 แสดงระยะทางระหว่างสถานที่ 10 แห่ง (หน่วย: กิโลเมตร)

สถานที่ตัวอย่าง(i)										
ระยะทาง(j)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0.8	2.4	1.9	2.6	5.8	6.4	3.8	4	5.8
2	0.8	0	2.9	1.3	2.5	5.2	4.4	4	4.5	5.2
3	3.7	4.2	0	4	5.2	3.9	2.5	1.9	5.2	3.9
4	3	2	4.8	0	1.3	5.5	5.8	4.3	3.7	5.5
5	2.6	3.1	4.2	2.4	0	6.4	5	5.2	3.4	6.4
6	5.6	5.2	3.9	4.8	6.4	0	1.9	2.5	8.2	0.8
7	6.4	3.8	2.8	5.8	5	2.1	0	1.3	7	2.1
8	3.9	3.4	1.6	4.3	5.2	3.1	1.7	0	5.8	2.9
9	3.9	4.5	5	3.7	3.4	8.4	7	5.8	0	8.3
10	5.8	5.2	4.2	5.5	6.4	0.8	2.1	2.9	8.3	0

จากตารางระยะทางระหว่างสถานที่ที่สามารถเลือกโครโมโซมพ่อแม่ ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างโครโมโซมพ่อแม่

พ่อ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
แม่	9	8	7	6	1	5	4	3	10	2

สามารถแลกเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซมพ่อแม่เพื่อโครโมโซมลูก ได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตาราง 4.3 ตัวอย่างโครโมโซมลูก

ลูก 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
ลูก 2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
ลูก 3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
ลูก 4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
ลูก 5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
ลูก 6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
ลูก 7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7
ลูก 8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8
ลูก 9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ลูก 10	5	2	3	4	1	6	7	8	9	10

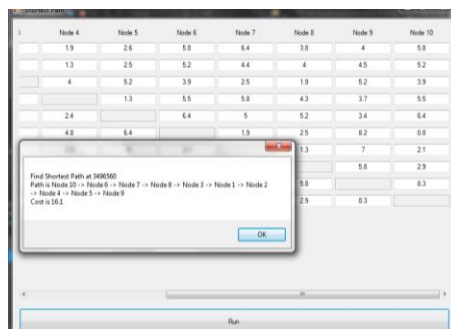
1. เริ่มต้นสุ่มจำนวนโครโมโซม เพื่อให้ได้ตัวอย่างโครโมโซมพ่อแม่และโครโมโซมแม่ขึ้นมา
2. คำนวณหาสมการแทนค่าคำตอบ
3. เลือกโครโมโซมจากพ่อและแม่ มาแลกเปลี่ยนยีนกันเพื่อให้ได้เป็นโครโมโซมลูก
4. แทนที่โครโมโซมพ่อแม่ด้วยโครโมโซมลูก
5. หาคำตอบโครโมโซมลูก แล้วทำการเก็บค่าที่ได้จำนวนน้อยที่สุดไว้ จนกว่า $n \geq 500$

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการวิจัย การใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เพื่อหาระยะทางการเดินทางที่สั้นที่สุดนั้นสามารถประมวลผลให้เห็นค่าชัดเจน และเป็นผลที่ยอมรับได้ โดยจะสามารถเห็นได้ถึงค่าที่เป็นตัวเลขเปรียบเทียบได้ง่าย และได้มาซึ่งฐานข้อมูลเพื่อนำมาใช้กับกิจการรับซื้อขายของเก่า

ปัญหาจากบทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ดังนี้ การจัดการเส้นทางเดินทางขนส่งสินค้า นั้นจะซับซ้อนมากขึ้นเมื่อมีหลายสถานที่ ซึ่งการวางแผนที่ดีนั้นจะช่วยลดปัญหาความล่าช้า ลดเวลาที่จะเสียไปได้ แต่เส้นทางที่ได้มานั้นอาจจะไม่ใช่เส้นทางที่ดีเสมอไป เนื่องจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น อุบัติเหตุ ภูมิสภาพ

ภูมิอากาศ การนำวิธีการทางเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการหาระยะทางนั้นมีขั้นตอน ระเบียบมาตรฐานที่แน่นอน ซึ่งได้นำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมาใช้นั้นทำให้เห็นได้ถึงแนวทางเพื่อใช้ในการวิ่งรถโดยไม่วิ่งทับซ้อนเส้นทางกัน ทำให้เปลืองค่าใช้จ่ายโดยเปล่าประโยชน์ และได้โปรแกรมที่ได้ทำการสร้างขึ้นมาเพื่อทำการคำนวณด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) การประมวลผลระหว่างสถานที่ทั้งสิบแห่งนั้น ใช้เวลาประมวลผลประมาณ 14 วินาที ซึ่งระยะทาง 16.1 กิโลเมตรคือระยะทางที่สั้นที่สุดที่ได้คำตอบจากการใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ซึ่งเป็นเส้นทางที่วิ่งจาก 10->6->7->8->3->1->2->4->5->9



ภาพที่ 5.1 แสดงผลรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุด

ข้อเสนอแนะ

ควรเพิ่มเกี่ยวกับการจัดเรียงสินค้า สินค้าที่ไม่สามารถบรรจุในลังได้ เมื่อบรรจุทุกบรรดแล้วยังมีพื้นที่ว่างในกระบะ ทำให้การจัดเรียงสินค้ายังไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร ถ้ามีการปรับเปลี่ยนวิธีการบรรจุสินค้า หรือปรับเปลี่ยนวิธีการขนส่งอาจจะทำให้การจัดเรียงสินค้าเพื่อขนส่งนั้นได้ประสิทธิภาพมากขึ้น และเพิ่มผลกำไร

การใช้โปรแกรมคำนวณเส้นทางเดินรถ ปัจจุบันนี้มีโปรแกรมช่วยในการออกแบบเส้นทางที่ช่วยประหยัดเวลาได้ หากกิจการรับซื้อขายของเก่ามีการพัฒนาระบบการทำงานมากกว่าปัจจุบัน ควรเลือกใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณเพื่อเป็นการลดต้นทุนเพิ่มเติม นอกจากจะออกแบบเส้นทางให้แล้ว โปรแกรมยังมีการคำนวณการจัดวางสินค้าและประเมินค่าใช้จ่ายให้ทำให้ประหยัดเวลาได้มากขึ้น

อ้างอิง

- กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ อภิชาติ มณีงาม และ อภินันทนา อุดมศักดิ์กุล. 2556. การประยุกต์ใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมในปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งอัญมณี. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 3, 6, 73-85.
- กมล ลิ้มธัญญกุล. 2554. การวางแผนเส้นทางเดินรถขนส่งแบบขึ้นกับระยะเวลาในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. งานวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- กิตติเดช วงศ์ศักดิ์ และ เกียรติศักดิ์ โยชนะนัง. 2554. ศึกษาแบบค้นหาเส้นทางหลักที่สั้นที่สุดและเส้นทางรองโดยใช้ขั้นตอนวิธีระบบมด. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- กิตติพงษ์ บุญโล่ง. 2554. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดวัตถุประสงค์หลายอย่าง. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 16, (2554)1: 107-114.

- ชวลีกร ชนะสิทธิ์และสรวิชัย เยาวสุวรรณไชย. 2556. การพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางคนส่งสินค้า. วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2, 1, 55-69.
- ชรินิ มณีศรี. 2553. การประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางคนส่งสินค้าที่มีรถคนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้. งานวิจัย. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- นิลุบล ศิวบรรวัฒนา. 2549. การจัดการห่วงโซ่อุปทานที่มีผลต่อประสิทธิภาพ และประสิทธิผลในการทำงานของอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย.งานวิจัย.มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ประมวณ จันทร์ชีวะ. 2550. การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal Transport) หลักการและแนวทางการทำความเข้าใจ พ.ร.บ. การขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ พ.ศ. 2548. กรุงเทพฯ: คณะอนุกรรมการประสานกันทางทะเลและขนส่ง สมาคมประกันวินาศภัย.
- พงศกร แดงทรัพย์. 2553. การวิเคราะห์ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมที่เข้ารหัสด้วยอัลกอริทึม LZW ด้วยทฤษฎีเค้าร่าง. ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. 2554. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อการแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- วัฒนวงศ์ รัตนวราห. 2545. วิสวกรรมกรขนส่ง. กรุงเทพฯ: ไลบรารี นาย พับลิชชิง.
- สุนิสา รีมเจริญ. 2555. ศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบกระชับและการประยุกต์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17, (2555)2: 205-211.
- อุดม จันทร์จรัสสุข. 2554. ศึกษาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางคน. วิศวกรรมลาดกระบัง, 28, 3, 31-37.
- Jizhong Zhu. 2009. Optimization of power system operation. Canada: John Wiley & Son, Inc.
- Edwin K.P. Chong and Stanislaw H. Zak. 1996. An Introduction to Optimization. Canada: John Wiley & Son, Inc.