

กลุ่มที่ 3

ผลงานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยี

**การศึกษาความเป็นไปได้สำหรับการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมด
อย่างเป็นลำดับโดยใช้วิธีโฟลอินเจกชัน-สเปกโตรโฟโตเมตรี
FEASIBILITY STUDY OF SEQUENTIAL DETERMINATION OF CAFFEINE
AND TOTAL POLYPHENOL USING FLOW INJECTION-
SPECTROPHOTOMETRY**

ดารณี ปัดดา

นักศึกษาปริญญาโท สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

E-mail: daranee.pud@mfu.ac.th

สิริพัชร สุธีรภัทรานนท์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

E-mail : siripat@mfu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับด้วยวิธีโฟลอินเจกชัน-สเปกโตรโฟโตเมตรี (FI-spectrophotometry) ร่วมกับการใช้ตัวดูดซับพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) โดยตัวดูดซับซึ่งต่อเข้ากับอินเจกชันวาล์วจะจับพอลิฟีนอลไว้ คาเฟอีนในสารละลายที่ไหลผ่านคอลัมน์จะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีวัดการดูดกลืนแสงที่ 273 นาโนเมตร ก่อน จากนั้นจึงใช้ตัวทำลายชะพอลิฟีนอลเพื่อทำการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป ซึ่งการวิเคราะห์จะอาศัยการทำปฏิกิริยาของพอลิฟีนอลกับโฟลีนซิโอแคลทิวรีเอเจนต์ (Folin-Ciocalteu reagent) ในสภาวะต่าง และวัดการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงินที่ 760 นาโนเมตร จากการศึกษาประสิทธิภาพของ PVP ในการส่งผ่านคาเฟอีนและดูดซับพอลิฟีนอล พบว่า PVP สามารถส่งผ่านคาเฟอีนได้ 98-100% และดูดซับพอลิฟีนอลได้ 95-98% ตัวทำลายที่เหมาะสมในการชะพอลิฟีนอลคือ สารละลาย เมทานอล 70%(v/v) โดยทำให้ชะพอลิฟีนอลได้ 69-114% และเมื่อวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานผสมคาเฟอีนและพอลิฟีนอลความเข้มข้นต่างๆ พบว่า วิธีวิเคราะห์นี้มีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ โดยร้อยละการได้กลับคืนของคาเฟอีน 100-112% ส่วนการหาปริมาณพอลิฟีนอลต้องใช้ Correction factor = 2.2 จึงจะทำให้ได้ร้อยละการได้กลับคืนของพอลิฟีนอล 96-116% และมีความแม่นยำพอสมควร (%RSD 1-14%)

คำสำคัญ: คาเฟอีน พอลิฟีนอล พอลิไวนิลไพโรลิโดน โฟลอินเจกชัน-สเปกโตรโฟโตเมตรี

ABSTRACT

In this work, the sequential determination of caffeine and total polyphenols (PP) using flow injection (FI)-spectrophotometry with PVP adsorbent was studied. The PVP cartridge, which was connected to the injection valve, adsorbed PP. The absorbance of the unbound caffeine in the solution that passed through the PVP cartridge was measured at 273 nm. PP was eluted by a solvent and reacted with Folin-Ciocalteu reagent and alkaline. A blue complex product was measured at 760 nm. The study of PVP efficiency for passing caffeine and adsorbing PP showed that 98-100% of caffeine was passed and 95-98% of PP was adsorbed. The appropriate eluent was found to be 70% (v/v) methanol, which provided recovery of polyphenols of 69-114%. The standard mixture solutions between caffeine and PP at various concentration ratios were analyzed. It was found that the accuracy of the proposed method was satisfactory with recovery of caffeine of 100-112%. For PP analysis, a correction factor (2.2) was applied to calculate the correct amount of PP, and it showed recovery of PP of 96-116%. The precision of the method was also acceptable (%RSD 1-14%).

KEYWORDS: Caffeine, Polyphenol, Polyvinylpyrrolidone, Flow injection-spectrophotometry

1. บทนำ

การวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเครื่องดื่มที่มีสารทั้งสองชนิดเป็นองค์ประกอบนั้นมีความสำคัญ เช่น ในชาซึ่งมีสารจำพวกพอลิฟีนอล เช่น คาเทชิน (Catechins), ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) และอนุพันธ์ของ Catechins (Lambert & Yang, 2003) ช่วยในการต้านมะเร็ง ลดระดับคลอเรสเตอรอล และไตรกลีเซอไรด์ในเลือด เป็นต้น (Zuo *et al.*, 2002; Khan & Mukhtar, 2007) แต่คาเฟอีน (Caffeine) ในชาอาจทำให้เกิดอาการหงุดหงิด ปวดศีรษะ ใจสั่น และปวดท้อง ถ้าได้รับในปริมาณที่มากเกินไป (Jun, 2009) ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนและพอลิฟีนอลจะแสดงถึงผลดีและผลเสียของเครื่องดื่มต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้

การวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น สเปกโตรโฟโตเมตรี (Spectrophotometry), โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography; HPLC), แมสสเปกโตรเมตรี (Mass Spectrometry; MS), และฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy) (Paradkar & Irudayaraj, 2002; Yamauchi *et al.*, 2008; Jun, 2009; Suteeraparanon *et al.*, 2009) ส่วนวิธีการวิเคราะห์ปริมาณพอลิฟีนอลทั้งหมด ได้แก่ Spectrophotometry, Fourier transform near infrared (FT-NIR) spectroscopy, โฟลว์อินเจกชันอนาลิซิสสเปกโตรโฟโตเมตรี (Flow injection analysis (FIA) spectrophotometry) (Zhang & Danielson, 2003, Turkmen *et al.*, 2006; Shagnaghi *et al.*, 2008, Suteerapataranon & Pudta, 2008) ซึ่งการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลด้วยวิธีดังกล่าว จะต้องทำการแยกพอลิฟีนอลหรือคาเฟอีนออกเพื่อวิเคราะห์สารใดสารหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณหรือประเมินความสัมพันธ์ของคาเฟอีนและพอลิฟีนอลพร้อมๆ กันได้จากการศึกษารายงานวิจัย พบว่า เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลพร้อมกัน ได้แก่ เทคนิค HPLC (Goto *et al.*, 1996; Zuo *et al.*, 2002) และเทคนิค Near-infrared reflectance spectroscopy (Chen *et al.*, 2006) ซึ่งทั้งสองวิธีต้องอาศัยเทคนิคขั้นสูงและเครื่องมือมีราคาแพง

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลพร้อมกันที่ง่ายและใช้เครื่องมือไม่ซับซ้อน ราคาไม่สูงนัก อาจทำได้โดย อาศัยเทคนิค FIA ร่วมกับการแยกสารด้วยคอลัมน์ที่บรรจุตัวดูดซับ และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมตรี ตัวดูดซับพอลิฟีนอลที่นิยมใช้ได้แก่พอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP) และ พอลิไวนิลพอลิไพร์โรลิโดน (Polyvinylpolypyrrolidone; PVPP) ซึ่ง PVPP สามารถดูดซับพอลิฟีนอลได้ดี (Horie *et al.*, 2002; Magalhaes *et al.*, 2010) โดยภายใน 5 นาที PVPP สามารถดูดซับพอลิฟีนอลได้ประมาณ 40% (Alyson *et al.*, 2005) แต่ยังไม่มียี่ห้อ PVPP cartridge สำเร็จรูปขนาดเล็กที่เหมาะสมสำหรับต่อเข้ากับระบบ FIA และหากเตรียมคอลัมน์ขึ้นเอง จะใช้เวลาในการเตรียมนานและเมื่อต่อเข้ากับระบบ FIA จะเกิดแรงดันย้อนกลับ (Back-pressure) จากการอุดตันของ PVPP (Pudta *et al.*, 2014) สำหรับ PVP นั้นสามารถดูดซับพอลิฟีนอลได้ประมาณ 24-50% (Zandrie *et al.*, 1997; Xu & Diosady, 2002; Alyson *et al.*, 2005) และนอกจากนี้ยังมี PVP Cartridge ปริมาณน้อยแบบสำเร็จรูป ซึ่งสามารถนำมาต่อเข้ากับระบบ FIA ได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับ โดยใช้ตัวดูดซับ PVP และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FI-spectrophotometry ซึ่งในการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลอย่างเป็นลำดับที่นำเสนอนี้ จะอาศัยตัวดูดซับ (Adsorbent) ในการจับพอลิฟีนอลไว้ก่อน เพื่อวิเคราะห์คาเฟอีน เนื่องจากพอลิฟีนอลบางชนิดเช่น ฟลาวัน-3-อล ออกซิไดซ์ พอลิฟีนอล (Flavan-3-ols oxidized polyphenols), ทีอะฟลาวินส์ (Theaflavins) และ ทีอะรูบิกินส์ (Thearubigins) สามารถทำปฏิกิริยากับคาเฟอีนและเกิดตะกอนสีขาว (Copeland *et al.*, 1998; Ishizu *et al.*, 2009; Couzinet-Mossion *et al.*, 2010) จากนั้นใช้ตัวทำละลายชะพอลิฟีนอลจากตัวดูดซับเพื่อทำการวิเคราะห์พอลิฟีนอลในลำดับต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวดูดซับ PVP ในการส่งผ่านคาเฟอีน ดูดซับและปลดปล่อยพอลิฟีนอล
- 2.2 เพื่อศึกษาวิธีวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับ โดยวิธี FI-spectrophotometry

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุ

คาเฟอีน (Sigma, Germany) กรดแกลลิก (Gallic acid) (Fluka, Spain) ซึ่งใช้เป็นสารมาตรฐานพอลิฟีนอล โฟลินซีโอแคลเทวีรีเอเจนต์ (Folin-ciocalteu reagent; FC) (Merck, Germany) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Ajax, Australia) และเมทานอล (CH₃OH) (Merck, Germany) ที่ใช้เป็นกรดสำหรับการวิเคราะห์ (AR grade) สารละลายทุกชนิดเตรียมโดยใช้น้ำบริสุทธิ์ (Millipore, Labconco, USA) เป็นตัวทำละลาย ตัวดูดซับพอลิฟีนอลที่ใช้ ได้แก่ PVP cartridge ขนาด 1 มล. (Dionex OnGuard, Thermo scientific, USA)

3.2 การศึกษาประสิทธิภาพของ PVP ในการส่งผ่านคาเฟอีน

ฉีดสารละลายมาตรฐานคาเฟอีน (ความเข้มข้น 50, 100 และ 500 มก./ล.) ปริมาตร 2.0 มล. ผ่าน PVP cartridge และเก็บสารละลายที่ผ่านออกมา (F_1) จากนั้นใช้น้ำบริสุทธิ์ ปริมาตร 2 มล. ไล่คาเฟอีนที่ติดค้างอยู่ใน cartridge และเก็บสารละลายที่ผ่านออกมา (F_2) (โดยแต่ละความเข้มข้นทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 ความเข้มข้น)

นำสารละลายที่เก็บไว้ไปวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนด้วยวิธี FI-spectrophotometry และคำนวณหาร้อยละการได้กลับคืนของคาเฟอีน (R_C) จากสมการ (1)

$$R_C = [(C_{F1} + C_{F2})/C_T] * 100\% \quad (1)$$

โดยที่ C_{F1} และ C_{F2} คือปริมาณคาเฟอีน (มก.) ในสารละลาย F_1 และ F_2 ตามลำดับ และ C_T คือปริมาณคาเฟอีน (มก.) ทั้งหมดที่โหลด (Load) ลงบน PVP

3.3 การศึกษาประสิทธิภาพของ PVP ในการดูดซับและปลดปล่อยพอลิฟีนอล

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเป็นตัวแทนของพอลิฟีนอล ในวิธีมาตรฐานการวิเคราะห์พอลิฟีนอลทั้งหมดจะใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งกรดแกลลิกเป็นสารประกอบพอลิฟีนอลที่มีขนาดเล็กโมเลกุลเล็ก ทำให้สามารถเป็นตัวแทนของพอลิฟีนอลทั้งหมดได้ ดังนั้นหน่วยวัดปริมาณจึงเป็น มก.สมมูลกรดแกลลิก (mg. gallic acid equivalent) วิธีการศึกษาทำได้โดยฉีดสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 50, 100 และ 200 มก./ล.) ปริมาตร 2.0 มล. ผ่าน PVP cartridge และเก็บสารละลายที่ผ่านออกมา (F_A) เพื่อคำนวณร้อยละการดูดซับกรดแกลลิก (%Adsorption) โดยใช้สมการ (2) จากนั้นศึกษาความเข้มข้นของสารละลายเมทานอลที่ใช้ชะกรดแกลลิก (70, 80 และ 90 % (v/v)) โดยชะครั้งละ 2 มล. หลายๆ ครั้ง (n ครั้ง) เก็บสารละลายที่ได้จากการชะทุกครั้ง ($F_{i, i=1-n}$) วิเคราะห์ปริมาณพอลิฟีนอลในสารละลายที่เก็บไว้ด้วยวิธี FI-spectrophotometry และคำนวณร้อยละการได้กลับคืนของกรดแกลลิก (R_G) จากสมการ (3) (แต่ละความเข้มข้นทำการทดลอง โดยแต่ละครั้งนั้นเป็นการฉีดกรดแกลลิกความเข้มข้นเดียวกันผ่าน PVP cartridge 1 อันซ้ำ 3 ครั้ง)

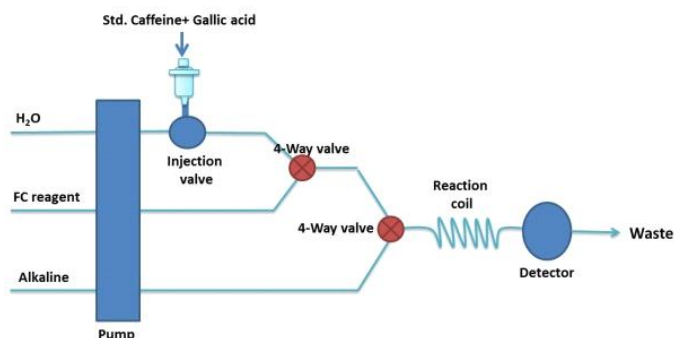
$$\% \text{Adsorption} = [(G_T - G_{FA})/G_T] * 100\% \quad (2)$$

$$R_G = (G_F/G_T) * 100\% \quad (3)$$

โดย G_T คือปริมาณกรดแกลลิก (มก.) ทั้งหมดที่โหลดลงบนตัวดูดซับ PVP, G_{FA} คือ ปริมาณกรดแกลลิก (มก.) ในสารละลาย F_A , G_F คือ ปริมาณกรดแกลลิก (มก.) ที่อยู่ในสารละลาย F_i

3.4 การศึกษาการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับด้วยวิธี FI-spectrophotometry

แผนภาพของระบบ FI-spectrophotometry สำหรับการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลอย่างเป็นลำดับแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย ปั๊มแบบเพอริสแตติก (Peristaltic pump) (REGLO ISM 828B, ISMATEC, Switzerland) วาล์วสำหรับฉีดตัวอย่างแบบ 6 พอร์ต (6-port injection valve) (V-450, UpChurch Scientific, USA) ซึ่งมีท่อบรรจุตัวอย่างได้ 50 ไมโครลิตร (50-μL sample loop) โดยนำ PVP cartridge ขนาด 1 มล. (Dionex OnGuard II P, Thermo Scientific, USA) ต่อเข้ากับ Injection port ของ Injection valve คอยล์สำหรับทำปฏิกิริยา (Reaction coil) ขนาด 100 ซม. (PTFE, 0.076 μm.) วาล์วแบบ 4 ทาง (4-way valve PEEK 3-Port Flow) (V-100T, IDEX Health&Science, USA) และเครื่องตรวจวัดการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer) (Lambda35, PerkinElmer, USA) ซึ่งสามารถวัดการดูดกลืนแสงได้หลายความยาวคลื่นพร้อมๆ กัน



รูปที่ 1 แผนภาพระบบ FI-spectrophotometry สำหรับวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมด
อย่างเป็นลำดับ

ขั้นตอนเริ่มจากการป้อนสารละลายทุกชนิดด้วยอัตราการไหล 1.5 มล./นาที เข้าสู่ระบบ สำหรับการวิเคราะห์คาเฟอีน 4-way valve ที่ 2 วาล์ว จะถูกปิดไม่ให้สารละลาย FC reagent (7.5%(v/v)) และสารละลาย NaOH (1.0%(w/v)) เข้าสู่ระบบ มีเพียงกระแสของน้ำบริสุทธิ์ในระบบ การวิเคราะห์คาเฟอีนมีลำดับดังนี้ (1) ฉีดสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างคาเฟอีนและกรดแกลลิก (ความเข้มข้น 50:50, 50:200, 100:100, 500:50, และ 500:200 มก./ล.) ปริมาตร 2 มล. ผ่าน PVP cartridge ซึ่งจะดูดซับกรดแกลลิกไว้ ส่วนคาเฟอีนจะถูกส่งผ่านไปให้ไหลเข้าสู่ Sample loop ขนาด 50 ไมโครลิตร (2) หมุน Injection valve ไปตำแหน่ง Inject สารละลายที่ผ่าน PVP cartridge ซึ่งถูกสุ่มตัวอย่างเก็บไว้ใน Sample loop จะถูกกระแสของน้ำบริสุทธิ์พาไปยัง UV-Vis spectrophotometer เพื่อวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 273 นาโนเมตร (3) ใช้น้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 1 มล. ฉีดผ่าน PVP cartridge เพื่อไล่คาเฟอีนที่ค้างอยู่ให้เข้าสู่ Sample loop แล้ว Inject เข้ากระแสของน้ำบริสุทธิ์เพื่อวัดการดูดกลืนแสงที่ตัวตรวจวัด (4) ใช้น้ำบริสุทธิ์ปริมาตร 1 มล. ไล่คาเฟอีนที่ค้างอยู่ใน PVP cartridge แล้วนำเข้าสู่กระแสของน้ำบริสุทธิ์เพื่อวัดการดูดกลืนแสงอีกครั้ง

จากนั้นจึงวิเคราะห์พอลิฟีนอลโดยเปิด 4-way valve ให้สารละลาย FC reagent และสารละลาย NaOH ไหลเข้าสู่ระบบ แล้วชะพอลิฟีนอลที่ถูกดูดซับไว้บน PVP cartridge ด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมปริมาตร 1 มล. ให้ไหลผ่าน Sample loop เพื่อสุ่มตัวอย่างเก็บสารละลายและนำเข้าสู่กระแสของน้ำบริสุทธิ์ และนำไปยังกระแสของ FC Reagent และ NaOH ตามลำดับ เพื่อทำปฏิกิริยาใน Reaction coil ก่อนเข้าสู่ UV-Vis spectrophotometer เพื่อวัดการดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนสีน้ำเงิน (ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร) ที่เกิดจากพอลิฟีนอลทำปฏิกิริยากับ FC reagent ในสภาวะต่าง (อ้างอิงวิธี FI-spectrophotometry สำหรับวิเคราะห์พอลิฟีนอลทั้งหมดจาก Suteerapataranon *et al.*, 2008) ใช้ตัวทำละลายปริมาตร 1 มล. ชะพอลิฟีนอลอีก 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งสารละลายที่ถูกชะจะถูกสุ่มตัวอย่างเก็บไว้ใน Sample loop และถูกพาเข้าระบบวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้น เพื่อวัดการดูดกลืนแสงและนำค่าที่ได้ไปคำนวณต่อไป (โดยแต่ละความเข้มข้นทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อ 1 ความเข้มข้น)

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาประสิทธิภาพของ PVP ในการส่งผ่านคาเฟอีน

ผลการศึกษาเป็นไปตามที่คาดหมายไว้ นั่นคือ PVP สามารถส่งผ่านคาเฟอีนออกมาทั้งหมด (R_c อยู่ในช่วง 98-100%) (ดังตารางที่ 1) เนื่องจาก PVP ถูกปรับสถานะให้มีขั้วมากด้วยหมู่ -OH ทำให้คาเฟอีนซึ่งมีส่วนที่เป็น Hydrophobic จากหมู่ $-\text{CH}_3$ จึงไม่ถูกดูดซับไว้

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของ PVP ในการส่งผ่านคาเฟอีน

ความเข้มข้นของคาเฟอีน (มก./ล.)	R_c (% $\pm$ SD*)
50	98 $\pm$ 6.4
100	99 $\pm$ 1.3
500	100 $\pm$ 1.7

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากการทำซ้ำ n=3

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพของ PVP ในการดูดซับและปลดปล่อยพอลิฟีนอล

ผลการทดลอง (ตารางที่ 2) แสดงให้เห็นว่า PVP มีประสิทธิภาพในการดูดซับพอลิฟีนอลได้ดีมาก โดยสามารถดูดซับกรดแกลลิกไว้ได้เกือบทั้งหมด (%Adsorption = 95-98%) เมื่อเปรียบผลการดูดซับพอลิฟีนอลของตัวดูดซับ PVP ในงานวิจัยนี้กับผลการทดลองที่ได้เผยแพร่ออกมา (PVP สามารถดูดซับพอลิฟีนอลได้ประมาณ 24-50% (Zandrie *et al.*, 1997; Xu & Diosady, 2002; Alyson *et al.*, 2005)) จะเห็นได้ว่าตัวดูดซับ PVP ในงานวิจัยนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับพอลิฟีนอลสูงกว่า เนื่องจาก PVP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบคาร์ทริดจ์ ซึ่งทำให้ PVP มีพื้นที่ผิวในการดูดซับพอลิฟีนอลได้มากกว่า PVP ที่ใช้ในงานวิจัยที่เผยแพร่ซึ่งเตรียม PVP แบบเยื่อเลือกผ่าน (Membrane) (Zandrie *et al.*, 1997) และเตรียม PVP แบบผงแล้วนำไปแช่ไว้ในตัวอย่างที่ต้องการกำจัดพอลิฟีนอลออก (Xu & Diosady, 2002; Alyson *et al.*, 2005) ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยพอลิฟีนอลนั้น พบว่าประสิทธิภาพในการปลดปล่อยพอลิฟีนอลของ PVP ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้และปริมาตรทั้งหมดของตัวทำละลาย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการชะพอลิฟีนอลคือ สารละลายเมทานอล 70%(v/v) เนื่องจากทำให้ได้ R_c อยู่ในช่วง 69-114% และไม่มีฟองอากาศเกิดขึ้นในระบบตลอดการวิเคราะห์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารละลายเมทานอล 90%(v/v) ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศในระบบ FIA จำนวนมาก จนไม่สามารถทำการตรวจวัดได้ และเมื่อใช้สารละลายเมทานอล 80% (v/v) ถึงแม้จะได้ R_c อยู่ในช่วง 90-96% ซึ่งดีกว่าการใช้สารละลายเมทานอล 70%(v/v) แต่ขณะทำการวิเคราะห์ด้วยระบบ FIA สารละลายที่ชะด้วยสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 80% (v/v) ทำให้เกิดฟองอากาศขึ้นในระบบเป็นระยะๆ และเส้นฐาน (Baseline) ของการวิเคราะห์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้สารละลายเมทานอลความเข้มข้น 70% (v/v) เป็นตัวทำละลายสำหรับชะพอลิฟีนอล ส่วนปริมาตรของตัวทำละลายนั้น พบว่า ต้องใช้ปริมาตรตัวทำละลาย 40 มล. ในการชะพอลิฟีนอลออกทั้งหมด ทั้งการใช้สารละลายเมทานอล 70 และ 80%(v/v)

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของ PVP ในการดูดซับและปลดปล่อยพอลิฟีนอล

ความเข้มข้นกรดแกลลิก (มก./ล.)	%Adsorption (% ± SD*)	R_G เมื่อชะด้วยสารละลายเมทานอลความเข้มข้นต่างๆ (ปริมาตร 40 มล.) (% ± SD*)	
		70%	80%
50	95±0.0	114±8.5	94±4.4
100	97±0.0	81±0.4	90±5.1
200	98±0.0	69±7.4	96±6.2

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากการทำซ้ำ n=3

4.3 การศึกษาการวิเคราะห์ค่าเฟนินและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับด้วยวิธี FI-spectrophotometry

จากการศึกษาการวิเคราะห์ค่าเฟนินและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับในสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างคาเฟนินและกรดแกลลิก ที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยระบบ FI-spectrophotometry ร่วมกับการใช้ตัวดูดซับ PVP พบว่า ในการวิเคราะห์ปริมาณคาเฟนินนั้น ต้องอาศัยการสุ่มตัวอย่างเก็บสารละลายที่ไหลผ่าน PVP cartridge ไว้ใน Sample loop (F_1) และต้องมีการไล่คาเฟนินที่ค้างอยู่ใน PVP cartridge ออกมาด้วยน้ำแล้วสุ่มตัวอย่างเก็บสารละลายไว้ใน Sample loop อีกครั้ง (F_2) จากนั้น จึงนำปริมาณคาเฟนินใน F_1 และ F_2 (C_{F1} และ C_{F2} ตามลำดับ) มารวมกัน และคำนวณตามสมการ (1) จึงจะได้ปริมาณคาเฟนินที่ถูกต้อง โดยได้ $R_C = 104-112\%$ (ดังตาราง 3)

ส่วนในการวิเคราะห์ปริมาณพอลิฟีนอลนั้น เมื่อสุ่มตัวอย่างเก็บสารละลายที่ผ่าน PVP cartridge ไว้ใน Sample loop จำนวน 3 ครั้ง แล้วรวมปริมาณพอลิฟีนอลที่ได้จากการชะ 3 ครั้ง ($G_{Fi, i=1-3}$) พบว่า ได้ R_G อยู่ในช่วง 24-28% (คำนวณตามสมการ (3)) ซึ่งเป็นไปตามความคาดหมาย เนื่องจากจากการศึกษาประสิทธิภาพการปลดปล่อยพอลิฟีนอลพบว่า ต้องใช้ปริมาตรตัวทำละลายถึง 40 มล. เมื่อนำปริมาณกรดแกลลิกที่ได้จากการเก็บสารละลายที่ได้จากการชะครั้งที่ 1-3 รวมกันนั้นน้อยกว่าปริมาณกรดแกลลิกทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 2.2 เท่า และเมื่อใช้อัตราส่วนดังกล่าวเป็น Correction factor คูณกับปริมาณกรดแกลลิกที่ได้จากการเก็บสารละลายที่ได้จากการชะครั้งที่ 1-3 ($G_{Fi, i=1-3}$) ทำให้ได้ R_G อยู่ในช่วง 96-116% (ตารางที่ 3) ดังนั้น การคำนวณปริมาณกรดแกลลิกจึงต้องใช้สมการ (4) จึงจะทำให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากขึ้น

$$R_{G,corrected} = (2.2G_{Fi}/G_T) * 100\% \quad (4)$$

ตารางที่ 3 การศึกษาการวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับด้วยวิธี FI-spectrophotometry

ความเข้มข้นคาเฟอีน : กรดแกลลิก (มก./ล.)	ร้อยละการได้กลับคืน (% ± SD*)		ร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)	
	คาเฟอีน	พอลิฟีนอล	คาเฟอีน	พอลิฟีนอล
50:50	112±4.3	116±2.7	3.81	2.36
50:200	112±4.0	96±13.9	3.55	14.49
100:100	105±6.4	101±4.8	6.06	4.79
500:200	104±3.6	97±3.7	3.49	3.78
500:50	100±3.0	108±1.0	3.04	0.96

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้จากการทำซ้ำ n=3

อย่างไรก็ตาม ร้อยละการได้กลับคืนของคาเฟอีนและพอลิฟีนอลในบางชุดการทดลองมีค่ามากกว่า 100% ในกรณีของคาเฟอีนนั้นจะเกิดขึ้นในอัตราส่วนความเข้มข้นต่ำ (50:50 และ 50:200) อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนเนื่องจากใกล้ขีดจำกัดการวิเคราะห์ (ขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of detection) ของคาเฟอีนและพอลิฟีนอล เท่ากับ 28.342 และ 28.731 มก./ล. ตามลำดับ)

ความแม่นยำของวิธีการวิเคราะห์แสดงโดยร้อยละเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Percentage relative standard deviation; %RSD) จะเห็นได้ว่า วิธีวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำค่อนข้างดี (%RSD ไม่เกิน 6%) ยกเว้น %RSD ของการวิเคราะห์สารละลายผสมคาเฟอีน:กรดแกลลิก 50:200 มก./ล. ที่มีค่าสูงถึง 14.49% ซึ่งจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป นอกจากนี้ วิธีวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับนี้มีความรวดเร็วในการวิเคราะห์โดยสามารถวิเคราะห์ได้ 12 ตัวอย่างต่อชั่วโมง เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วย HPLC ซึ่งวิเคราะห์ได้ประมาณ 3-4 ตัวอย่างต่อชั่วโมงเท่านั้น

5. สรุปผลการวิจัย

การวิเคราะห์คาเฟอีนและพอลิฟีนอลทั้งหมดอย่างเป็นลำดับสามารถทำได้โดยใช้วิธี FI-spectrophotometry ร่วมกับการใช้ตัวดูดซับ PVP cartridge ต่อเข้ากับ Injection valve โดยตัวดูดซับจะจับพอลิฟีนอลไว้ เพื่อทำการวิเคราะห์คาเฟอีน แล้วจึงใช้ตัวทำละลายชะพอลิฟีนอลออกมาเพื่อหาปริมาณพอลิฟีนอลเป็นลำดับต่อมา จากการศึกษพบว่า PVP ให้ประสิทธิภาพในการส่งผ่านคาเฟอีนและดูดซับพอลิฟีนอลดีมาก (R_c 98-100% และ %Adsorption 95-98%) ตัวทำละลายที่เหมาะสมในการชะพอลิฟีนอลคือ สารละลายเมทานอลเข้มข้น 70% (v/v) และต้องใช้ตัวทำละลายปริมาตร 40 มล. เพื่อชะพอลิฟีนอลออกจาก PVP ให้หมด แต่ในระบบ FI-spectrophotometry ที่ผู้วิจัยนำเสนอนี้ ใช้ปริมาตรตัวทำละลายเพียง 3 มล. โดยต้องอาศัย Correction factor ในการคำนวณ จึงจะได้ปริมาณที่ถูกต้อง ทั้งนี้ วิธีวิเคราะห์ที่นำเสนอสามารถวิเคราะห์ปริมาณคาเฟอีนและพอลิฟีนอลอย่างเป็นลำดับในสารละลายมาตรฐานผสมได้โดยมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ (R_c = 104-112%, R_g = 96-116%) มีความแม่นยำพอสมควร (%RSD = 0.96-14.49%) และมีความรวดเร็วในการวิเคราะห์ (20 ตัวอย่าง/ชั่วโมง)

6. ข้อเสนอแนะ

ข้อค้นพบที่ต้องมีการใช้ Correction factor เพื่อคำนวณปริมาณพอลิฟีนอลนั้น ควรต้องมีการทดลองซ้ำอีกโดยใช้สารละลายมาตรฐานผสมที่มีความเข้มข้นต่างๆ หลายระดับ เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้อง นอกจากนี้ ควรจะศึกษาผลของสารรบกวน (Interference) ที่อาจมีในสารตัวอย่าง และควรมีการวิเคราะห์ค่าเฟโนลและพอลิฟีนอลอย่างเป็นลำดับในตัวอย่างเครื่องดื่มจริง และนำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธี FI-spectrophotometry นี้เปรียบเทียบกับเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีมาตรฐานต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัย และฝ่ายเครื่องมือวิเคราะห์และทดสอบขั้นสูง ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง สำหรับการอนุเคราะห์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ต่างๆ

8. เอกสารอ้างอิง

- Alyson E. M., Yun-Jeong H., Cale Male J., Christine A. W., Charles W. B. 2005. A comparison of polyvinylpyrrolidone (PVPP) silica xerogel and a polyvinylpyrrolidone (PVP)-silica co-product for their ability to remove polyphenols from beer. **Journal of the Institute of Brewing**, 35: 20-25.
- Chen Q., Zhao J., Huang X., Zhang H., Liu M. 2006. Simultaneous determination of total phenols and caffeine contents of green tea by near-infrared reflectance spectroscopy. **Microchemical Journal**, 83: 42-47.
- Copeland E.L., Clifford M.N., Williams C.M. 1998. Preparation of (-)-epigallocatechin gallate from commercial green tea by caffeine precipitation and solvent partition. **Food Chemistry**, 61: 81-87.
- Couzinet-Mossion A., Balayssac S., Gilard V., Malet-Martino M., Potin-Gautier M., Behra P. 2010. Interaction mechanisms between caffeine and polyphenols in infusions of *Camellia sinensis* leaves. **Food Chemistry**, 119: 173-181.
- Goto T., Yoshida Y., Kso M., Nagoshima H. 1996. Simultaneous analysis of individual catechins and caffeine in green tea. **Journal of Chromatography A**, 749, 295-299.
- Horie H., Nesumi A., Ujihara T., Kohata K. 2002. Rapid determination of caffeine in tea leaves. **Journal of Chromatography A**, 942: 271-273.
- Ishizu T., Tsutsumi H., Sato T. 2009. Interaction between gallic catechin gallate and caffeine in crystal structure of 1:2 and 2:2 complexes. **Tetrahedron Letters**, 50: 4121-4124.
- Jun X. (2009). Caffeine extraction from green tea leaves assisted by high pressure processing. **Journal of Food Engineering**, 94: 105-109.
- Khan N., Mukhtar H. 2007. Tea polyphenols for health promotion. **Life Sciences**, 81: 519-533.
- Lambert J.D., Yang C.S. 2003. Cancer chemopreventive activity and bioavailability of tea and tea polyphenols. **Mutation Research**, 523-524: 201-208.

- Magalhaes P.J., Vieira J. S., Goncalves L.M., Pacheco J. G., Guido L.F., Barros A.A. 2010. Isolation of phenolic compounds from hop extracts using polyvinylpyrrolidone: characterization by high-performance liquid chromatography-diode array detection-electrospray tandem mass spectrometry. **Journal of Chemistry A**, 1217: 3258-3268.
- Paradkar M.M., Irudayaraj J. 2002. Rapid determination of caffeine content in soft drinks using FTIR- ATR spectroscopy. **Food Chemistry**, 78: 261-266.
- Pudta D., Suteerapataranon S., Watla-iad K. 2014. Efficiency study of polyvinylpyrrolidone as the adsorbent for sequential analysis of caffeine and polyphenol by spectrophotometry. **Proceeding the 6th National Science Research Conference 20-21 March 2014 Burapha University**, 124-129.
- Shaghghi M., Manzoori J.L., Jouyban A. 2008. Determination of total phenols in tea infusions, tomato and apple juice by terbium sensitized fluorescence method as an alternative approach to the Folin-Ciocalteu spectrophotometric method. **Food Chemistry**, 108, 695-701.
- Suteerapataranon S., Pudta D. 2008. Flow injection analysis-spectrophotometry for rapid determination of total polyphenols in tea extracts. **Journal of Flow Injection Analysis**, 25: 62-64.
- Suteerapataranon S., Butsoongnern J., Punturat P., Jorpalit W., Thanomsilp C. 2009. Caffeine in Chiang Rai tea infusions: effect of tea variety, type, leaf form, and infusion conditions. **Food Chemistry**, 114: 1335-1338.
- Turkmen N., Sari F., Velioglu F.S. 2006. Effect of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and Folin-Ciocalteu methods. **Food Chemistry**, 99: 835-841.
- Yamauchi Y., Nakamura A., Kohno I., Kitai M., Hatanaka K., Tanimoto T. 2008. Simple and rapid UV spectrophotometry of caffeine in tea coupled with sample pre-treatment using a cartridge column filled with Polyvinylpyrrolidone (PVPP). **Journal of Pharmaceutical Society of Japan**, 56(2): 185-188.
- Xu L., Diosady L.L., 2002. Removal of phenolic compounds in the production of high-quality canola protein isolates. **Food Research International**, 35: 23-30.
- Zandrie B., Vural G., Herry H. N., 1997. Selective of polyphenols and brown colour in apple juices using PES/PVP membranes in a single-ultrafiltration process. **Journal of Membrane Science**, 134: 191-197
- Zhang W., Danielson N.D. 2003. Determination of phenols by flow injection and liquid chromatography with on-line quinine-sensitized photo-oxidation and quenched lumimol chemiluminescence detection. **Analytica Chimica Acta**, 493: 167-177.
- Zuo Y., Chen H., Deng Y. 2002. Simultaneous determination of catechins, caffeine and gallic acid in green, oolong, black and pu-erh teas using HPLC with a photodiode array detector. **Talanta**, 57: 307-316.

**การสังเคราะห์ซิลิกาทรงกลมกลวงโดยใช้หางน้ำยางเป็นสารแม่แบบและ TEOS เป็น
แหล่งซิลิกาด้วยวิธีโซล-เจลเอมัลชัน**

**SYNTHESIS OF HOLLOW SILICA SPHERES USING SKIM RUBBER AS
A TEMPLATE AND TEOS AS A SILICA SOURCE VIA SOL-GEL
EMULSION**

ชยุต ทองพิทักษ์

นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: voy-y@hotmail.com

นันทิยา หาญสุภลักษณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengnyh@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ทรงกลมกลวงซิลิกาถูกสังเคราะห์กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย ทั้งการใช้ในการดูดซับสารพิษ การเป็นตัวรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ในการขนส่งยา และอีกมากมาย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจการสังเคราะห์ทรงกลมกลวงซิลิกา (Hollow silica spheres) ที่มีรูพรุน สังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจลเอมัลชัน (Sol-gel/emulsion) โดยใช้หางน้ำยางธรรมชาติเป็นสารแม่แบบ ใช้เตตระเอธิลอซิโตนีโอเจนเป็นแหล่งซิลิกา และใช้ 3-อะมิโนโพรพิลไดรเอทอกซีไฮโดรเจนเป็นสารกำหนดโครงสร้างร่วม งานวิจัยนี้รายงานสถานะที่ใช้ในการสังเคราะห์ทรงกลมกลวงซิลิกา ด้วยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยาง (6:1 และ 5:1) และเปลี่ยนแปลงค่า pH ในการทดลอง (pH 7 และ 10) ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกระบุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ผลพบว่า เมื่อสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีโซล-เจลเอมัลชันที่อัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยาง 6:1 และ 5:1 ที่ค่า pH เท่ากับ 10 จะได้ทรงกลมซิลิกาซึ่งภายในกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเฉลี่ยประมาณ 150-200 นาโนเมตร และมีความหนาเปลือกอยู่ในช่วง 40-70 นาโนเมตร

คำสำคัญ: หางน้ำยางธรรมชาติ ทรงกลมกลวงซิลิกา วิธีโซล-เจลเอมัลชัน

ABSTRACT

Hollow silica spheres are widely synthesized because it can be applied to various applications such as toxic absorption, catalyst support, drug delivery and so on. This work reported suitable conditions for the synthesis of hollow silica sphere with porous shell via the sol-gel/emulsion method, using skim natural rubber (SNR), tetraethyl orthosilicate (TEOS) and (3-Aminopropyl) triethoxysilane (APTES) as a template, a silica source and a surfactant, respectively. The ratio of silica to natural rubber on the resulting product structure was varied (6:1 and 5:1). And pH of the experiment was varied (pH 7 and 10). The resulting products were analyzed by transmission electron microscopy. It is experimentally shown that the hollow silica sphere can be produced by using the sol-gel/emulsion method with the ratio of silica to natural rubber equal to 6:1 and 5:1 at pH equal 10. The inner diameter is approximately 150-200 nm and the range of shell thickness is 40-70 nm.

KEY WORDS: Skim natural rubber; Hollow Porous silica; Sol-gel/emulsion method

1. บทนำ

ทรงกลมกลวงซิลิกา (Hollow silica sphere, HSS) ที่มีรูพรุนกระจายตัวตลอดทั้งผิวของทรงกลมสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เช่น การขนส่งยา (Drug delivery) การรองรับตัวเร่งปฏิกิริยา (Support) ใช้เป็นตัวแยกสาร (Separate) ฯลฯ (Wang *et al.*, 2014) เนื่องจากเป็นทรงกลมซึ่งภายในกลวงและบริเวณพื้นผิวมีรูพรุนที่จำเพาะเจาะจง จึงสามารถดูดซับสารเคมี (Adsorption) ที่ต้องการได้ เช่น การใช้ทรงกลมกลวงซิลิกาดูดซับสารละลายสีย้อม Rhodamine B (Wang *et al.*, 2012) และใช้ในการดูดซับโลหะหนัก (ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี) (El-Toni *et al.*, 2014) โดยทั่วไปรูพรุนแบ่งได้เป็น 3 ขนาด คือ รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) น้อยกว่า 2 นาโนเมตร รูพรุนขนาดกลาง (Mesopore) 2–50 นาโนเมตร และรูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) มากกว่า 50 นาโนเมตร ซึ่งในแต่ละการใช้งานต้องการขนาดรูพรุนที่แตกต่างกันไป (Jullaphan *et al.*, 2011) ดังนั้นการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันเงื่อนไขกัน เพื่อให้ได้ทรงกลมกลวงซิลิกาตามขนาดที่ต้องการ สำหรับความกลวงของวัสดุนั้นเกิดขึ้นได้ด้วยการใช้สารแม่แบบ (Template) ที่กำจัดได้ง่าย เช่น ให้ความร้อนหรือใช้สารเคมี เป็นต้น (Chen *et al.*, 2014)

วิธีโซล-เจลอิมัลชันหรือที่รู้จักกันในชื่อ Stober method เป็นวิธีที่ใช้สังเคราะห์ซิลิกาจาก Tetraethyl orthosilicate (TEOS) กระบวนการ เริ่มจากให้ TEOS เกิดกระบวนการไฮโดรลิซิส ซึ่งเป็นการกำจัดหมู่ Ethyl และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์คือ Si(OH)_4 ซึ่งสารตัวนี้มีแนวโน้มเกิดการควบแน่น (Condensation) และให้ By-product เป็นน้ำ (Ibrahim *et al.*, 2010) การควบแน่นระหว่าง Si(OH)_4 สามารถเกิดขึ้นบนสารแม่แบบและหรือเกิดขึ้นในตัวกลาง โดยเหตุการณ์แรกทำให้ได้ HSS ในขณะที่เหตุการณ์หลังทำให้ได้กลุ่มก้อนซิลิกาในตัวกลางแทน นอกจากนี้กลุ่มก้อนของซิลิกาก็อาจจะเกิดการเกาะกันเองเป็น Aggregate เกิดขึ้น ซึ่งการเกาะของก้อนซิลิกากับทรงกลมและการเกาะกันเอง ล้วนเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการและต้องป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นในการสังเคราะห์ (Yoo *et al.*, 2014)

ในงานวิจัยนี้สนใจเพิ่มมูลค่าให้แก่ยางน้ำยาง ซึ่งอนุภาคยางในยางน้ำยางมีลักษณะกลมและเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถกำจัดด้วยความร้อนสูงประมาณ 550 องศาเซลเซียส (Phatharachindanuwong *et al.*, 2014) ทั้งยังเป็นวัสดุธรรมชาติซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นสารแม่แบบในการสังเคราะห์ HSS บทความนี้จึงได้รายงานผลการสังเคราะห์ HSS โดยใช้ยางน้ำยางเป็นสารแม่แบบ และ TEOS และ APTES เป็นแหล่งซิลิกา ทั้งนี้ APTES ยังเป็นสารกำหนดโครงสร้างร่วม (Co-structure directing agent) ปัจจุบันที่ได้เปลี่ยนแปลงคืออัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยาง และ pH โดย HSS ที่ได้ สามารถประยุกต์ใช้ในกิจกรรมอื่นๆ ต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 สังเคราะห์ HSS ที่มีรูพรุนโดยใช้ยางน้ำยางเป็นสารแม่แบบ และใช้ TEOS และ APES เป็นแหล่งซิลิกา

2.2 ศึกษาอิทธิพลของ pH และอัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยาง ต่อการเกิด HSS

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

ยางน้ำยางธรรมชาติ (Dry rubber content = 8.7 เปอร์เซ็นต์) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท นำริบเบอร์ แอนด์ ลาเท็กซ์ ส่วนสารเคมีสำคัญที่ใช้ได้แก่ 3-อะมิโนโพรพิลไตรเอทอกซิไซเลน ((3-Aminopropyl) triethoxysilane (APTES): 98% SiO₂, Aldrich) เตตระเอทิลออร์โทซิลิเกต (Tetraethyl orthosilicate (TEOS): 99% SiO₂, Aldrich) กรดไฮโดรคลอริก (HCl: 36.5–38.0 wt% purity, J.T. Baker) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH: 99 wt% purity, Merck) และเอทานอล (Ethanol: 99 wt% absolute, RCI Labscan) สารเหล่านี้ใช้ได้โดยตรง

3.2 การสังเคราะห์ HSS

ผสมน้ำปราศจากประจุ 28.8 กรัม กับเอทานอล 2.3 กรัม แล้วกวน 5 นาที พอให้ผสมกัน จากนั้นใส่ยางน้ำยาง 0.282 กรัม กวนต่ออีกประมาณ 5 นาที เพื่อให้สารผสมกัน จากนั้นผสม TEOS กับ APTES ในขวดเล็กอย่างรวดเร็ว (ปริมาณ TEOS ที่ศึกษา คือ 0.282 และ 0.2256 กรัม ส่วนปริมาณ APTES คงที่ตลอดการทดลองคือ 0.221 กรัม) แล้วนำไปเทใส่ภาชนะที่มีน้ำยาง pH ของสารในตอนนี้อยู่ที่ 10 (pH ที่สนใจอีกค่าคือ 7 ซึ่งทำการปรับด้วยกรดไฮโดรคลอริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนนี้) กวนของผสมเบาๆ ต่ออีกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเหยียงและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน 3 ครั้ง อบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสอีก 24 ชั่วโมง ทำการแคลซิเนชันด้วยการเผาของแข็งที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง จะได้ทรงกลมกลวงซิลิกา (HSS)

3.3 การวิเคราะห์สมบัติของตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้

โครงสร้างของรูพรุนและพื้นผิวของวัสดุที่สังเคราะห์ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy TECNAI 20 TWIN; FEI company; United States of America) ผสม HSS กับเอทานอล (ปริมาณ HSS ในเอทานอล 1 มิลลิตรมีค่าประมาณ 1×10^6 อนุภาค) ในหลอดไมโครเซนตริฟิวก์ จากนั้นใส่ภาชนะลงใน Ultrasonic bath ประมาณ 5–20 นาที เพื่อให้อนุภาค HSS กระจายในตัวกลางได้ดี จากนั้นดูดของเหลวออกมาหยดลงบนกริดเพื่อทำการถ่ายภาพ TEM ต่อไป

ค่าความเป็นประจุและขนาดของอนุภาคของ pH ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคระดับนาโน (Zetasizer Nano ZS; Malvern Instruments Ltd; United Kingdom) โดยทำการวัดค่าความเป็นประจุของยางที่ pH ต่างๆ ส่วนการวัดขนาดอนุภาคนั้นทำโดยไม่ปรับ pH น้ำยางหยดลงในน้ำปราศจากไอออน แล้วนำสารละลายนี้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Zetasizer ต่อไป

4. ผลการทดลอง

สำหรับยางที่ได้นั้นมี pH ประมาณ 10 อนุภาคยางในยางนี้มีขนาดตั้งแต่ 50 nm จนถึง 5 μm โดยพบว่าอนุภาคยางส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ที่ 190 nm (รูปที่ 1) ประจุสุทธิบนผิวอนุภาคยางที่วัดด้วย Zetasizer เป็นดั่ง รูปที่ 2 ซึ่งประจุสุทธิมีค่าเป็นลบ และความเป็นลบนี้มีค่าลดลงตาม pH ของระบบที่ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า ช่วง pH 3-4 ประจุสุทธิบนผิวอนุภาคยางมีค่าเป็นบวก นั้นแสดงว่าประจุส่วนใหญ่เป็นบวก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Phatharachindanuwig, 2014)

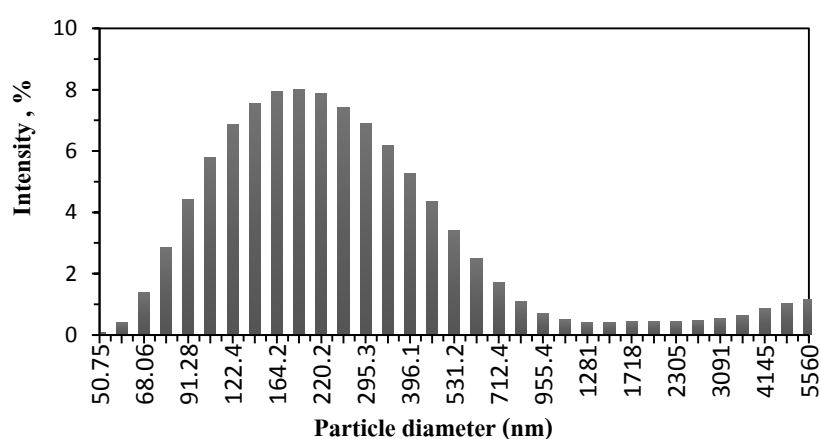
รูปที่ 3ก และ ข แสดงภาพ TEM ของ HSS ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยไม่ปรับ pH (pH ของระบบเท่ากับ 10 โดยประมาณ) และอัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยางเท่ากับ 6:1 และ 5:1 ซึ่งจะเห็นว่า สภาวะการสังเคราะห์ทั้งสองที่ใช้สามารถสังเคราะห์ HSS ได้โดยมีลักษณะกลมและกลวง อนุภาคเหล่านี้เกาะกลุ่มกันเล็กน้อยด้วย เมื่อวิเคราะห์ขนาดของโพร่ง พบว่าขนาดของโพร่งอยู่ในช่วง 150 ถึง 200 นาโนเมตร (ดูตารางที่ 1) มีค่าอยู่ในช่วงเดียวกันกับอนุภาคของยางที่แสดงในรูปที่ 1 จึงสรุปได้ว่าโพร่งที่เกิดขึ้น เกิดจากยางที่สลายไปในขั้นตอนการแคลซิเนชันที่อุณหภูมิสูง (หรือการเผา)นั่นเอง นอกจากนี้ปริมาณทรงกลมแตกหักเสียหายมีจำนวนไม่มากนักก็เป็นหลักฐานยืนยันความเหมาะสมของสภาวะการแคลซิเนชันที่ใช้

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยางที่ใช้ จะพบว่า รูปที่ 3ก และ ข แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วน 5:1 ให้ปริมาณ HSS มากกว่า รวมทั้ง HSS ที่ได้มีรูปทรงที่สวยงามกว่า เมื่อเทียบกับการสังเคราะห์ที่อัตราส่วน 6:1 นอกจากนี้ยังพบว่า HSS ที่ได้จากการใช้อัตราส่วน 5:1 มีความหนาของเปลือกสูงกว่า HSS ที่ได้จากการใช้อัตราส่วน 6:1 (ตารางที่ 1) ซึ่งผลที่ได้นี้ตรงข้ามกับผลที่นักวิจัยอื่นๆ ที่ได้รายงานไว้ว่า ความหนาของเปลือกของ HSS มักเพิ่มตามปริมาณซิลิกาเริ่มต้น (Zhen and Shu-Bin, 2011) อย่างไรก็ตามการใช้อัตราส่วน 6:1 ให้ซิลิกาที่เป็นจำนวนที่มากกว่าการใช้อัตราส่วน 5:1 (รูปที่ 3ก เทียบกับรูปที่ 3ข) นั้นแสดงว่าอนุภาคซิลิกาปฐมภูมิ (Primary silica particles) บางส่วนจับกันเองและบางส่วนก็เกาะที่ผิวของอนุภาคยาง ส่งผลให้เปลือกของ HSS บาง ในขณะที่การลดปริมาณซิลิกาเริ่มต้นลง (เหลือเพียง 5:1) อนุภาคซิลิกาปฐมภูมิส่วนใหญ่เลือกที่จะจับกับอนุภาคยางมากกว่า จึงทำให้ได้เปลือกของ HSS ที่หนากว่า นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าการสังเคราะห์ HSS ที่อัตราส่วนเป็น 5:1 นี้ ปริมาณ APTES ต่อปริมาณ TEOS ที่ใช้ อาจเหมาะสม ทำให้ลดการจับตัวกันเองระหว่างอนุภาคซิลิกาปฐมภูมิ

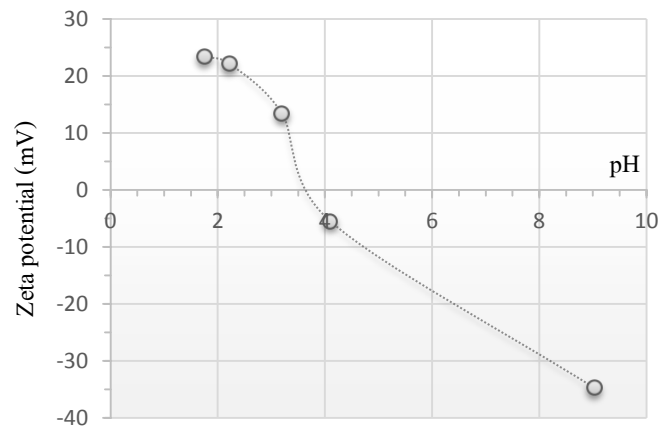
ตารางที่ 1 ความหนาเฉลี่ยของเปลือกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเฉลี่ยของ HSS ที่สังเคราะห์ที่สภาวะต่างๆ

การทดลอง ที่	pH	อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างซิลิกา : เนื้อยาง	ความหนาเฉลี่ยของ เปลือก HSS (nm)	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในเฉลี่ยของ HSS (nm)
1	10	6 : 1	40	150–200
2	10	5 : 1	70	150–200
3	7	6 : 1	-	-
4	7	5 : 1	-	-

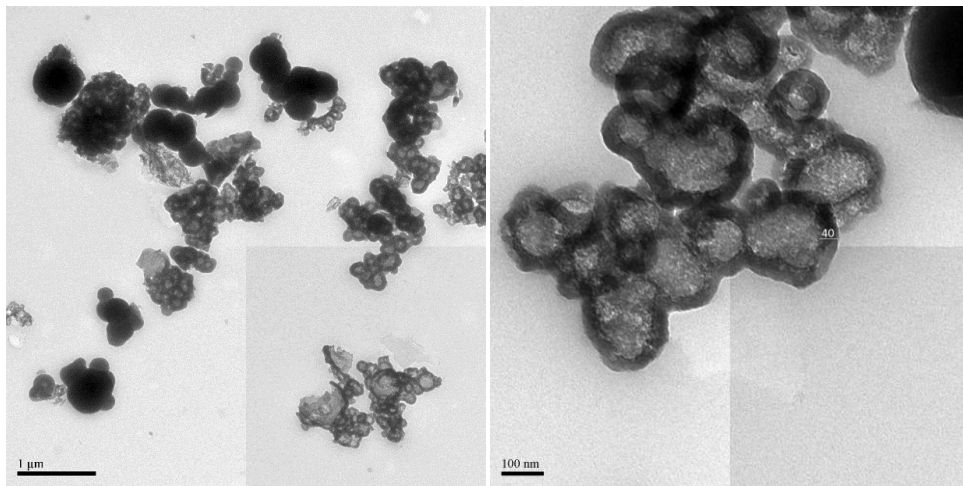
ที่ pH 10 นั้น APTES จะมีความเป็นกลางทางไฟฟ้า ในขณะที่การลด pH ของระบบลงจะทำให้ APTES มีความเป็นบวกมากขึ้น (Aljama, 2010) ประจุที่ตรงข้ามกับอนุภาคยางนี้จึงอาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงดึงดูดระหว่างสารทั้งสองที่มีประจุตรงข้าม ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิด HSS ต่อไป นี่จึงเป็นเหตุผลที่ผู้วิจัยได้สังเคราะห์ซิลิกาด้วยวิธีเดิม แต่ลด pH ของระบบลงให้มีค่าเท่ากับ 7 อย่างไรก็ตามจากรูปที่ 4 การสังเคราะห์ซิลิกาที่ pH 7 โดยใช้อัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อยางเป็น 6:1 และ 5:1 (การทดลองที่ 3 และ 4 ตามลำดับ) ไม่สามารถให้ซิลิกาทรงกลมกลวงได้ โดยซิลิกาที่ได้มีพื้นและมีรูปร่างหลายชนิด รวมทั้งมีลักษณะเป็นทรงกลมกลวงเกิดขึ้นด้วย แต่ไม่กลมสมบูรณ์ ทั้งนี้คาดว่าสาเหตุจากวิธีการทดลองที่ปรับ pH ของระบบทันทีที่เทของผสม TEOS กับ APTES ลงในภาชนะที่มีน้ำยาง ซึ่งการหยดกรดลงในน้ำยางนี้จะทำให้ประจุสุทธิบนผิวของยางลดลง ส่งผลให้ยางจับตัวเป็นก้อนได้ง่ายขึ้น (Phatharachindanuwong, 2014) (Jayanthy and Sankaranarayanan, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองที่สามารถสังเกตเห็นยางเกาะภายในบีกเกอร์ในขั้นตอนการกวนเมื่อ pH ของระบบเท่ากับ 7 (แต่พบน้อยมากเมื่อ pH เท่ากับ 10) หมายเหตุ อัตราส่วนระหว่างซิลิกากับเนื้อให้ผลการสังเคราะห์ที่คล้ายคลึงกันมาก



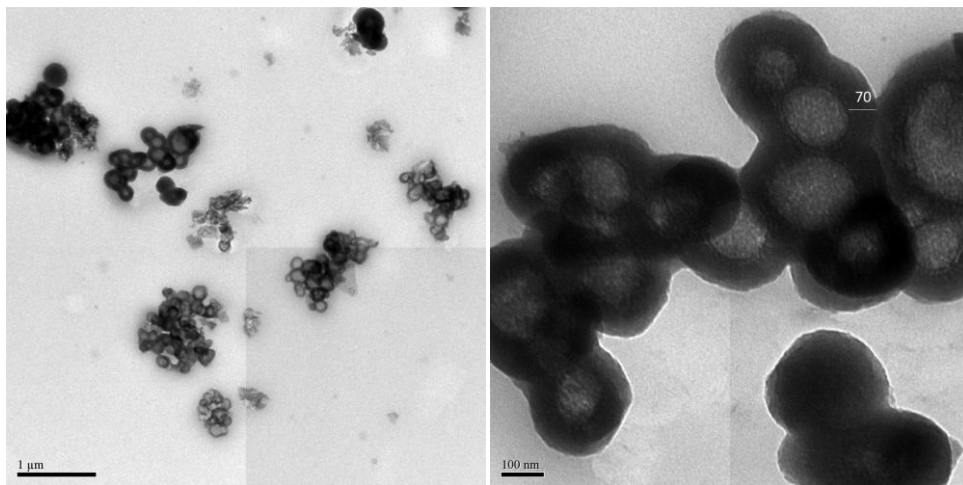
รูปที่ 1 การกระจายขนาดอนุภาคยางที่เป็นสารแม่แบบ



รูปที่ 2 ค่า Zeta potential ของยางที่ pH ต่างๆ

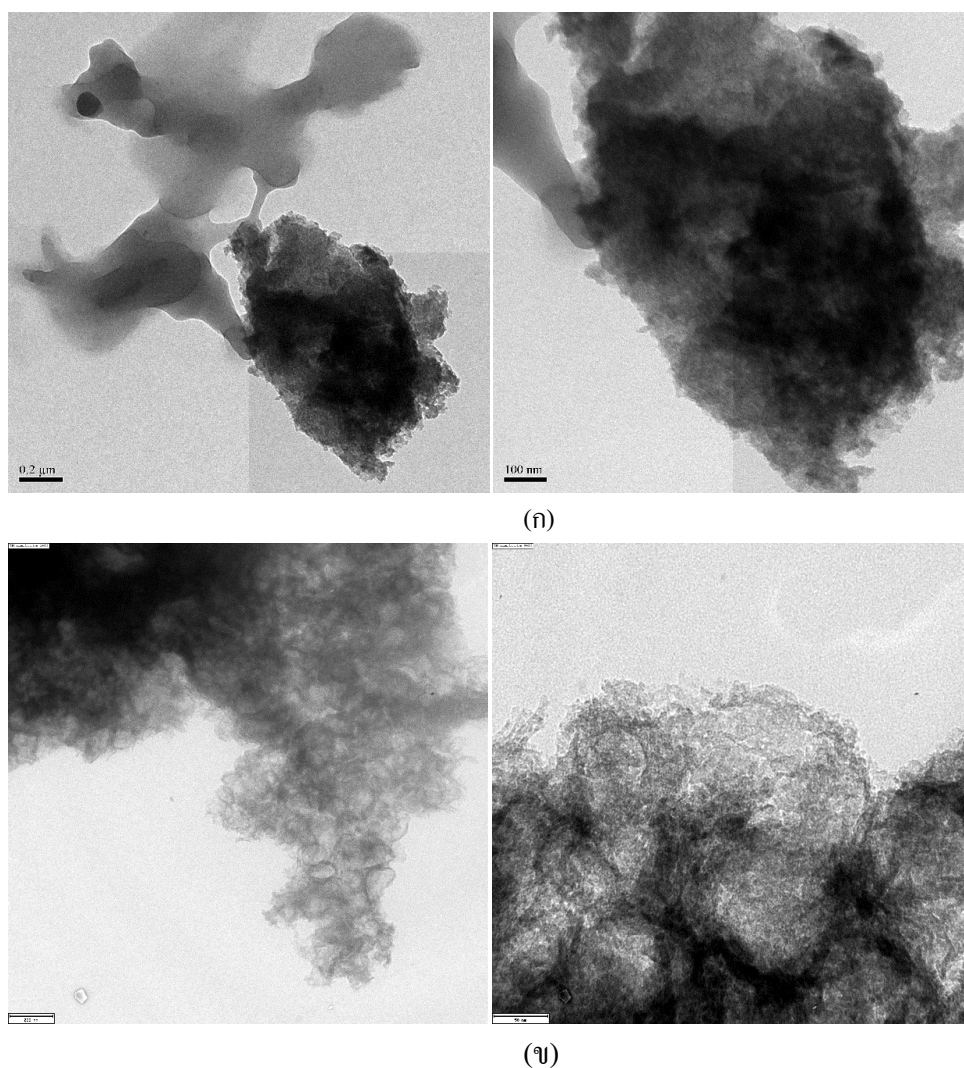


(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ภาพ TEM ของ HSS ที่สังเคราะห์ที่ pH 10 และใช้อัตราส่วนระหว่าง ซิลิกา:เนื้อยาง เท่ากับ (ก) 6:1 และ (ข) 5:1



รูปที่ 4 ภาพ TEM ของ HSS ที่สังเคราะห์ที่ pH 7 และใช้อัตราส่วนระหว่าง ซิลิกา:เนื้อยาง เท่ากับ (ก) 6:1 และ (ข) 5:1

5. สรุปผลการวิจัย

การใช้หาน้ำยางธรรมชาติเป็นสารแม่แบบ TEOS เป็นแหล่งให้ซิลิกาและ APTES เป็นเป็นสารกำหนดโครงสร้างร่วม สามารถสังเคราะห์ HSS ได้โดยใช้วิธีโซล-เจลอิมัลชัน ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระหว่าง ซิลิกาต่อเนื้อยาง และ pH ด้วย TEM พบว่าในการทดลองที่ค่า pH เท่ากับ 10 เกิด HSS ในขณะที่เมื่อปรับ pH เท่ากับ 7 จะไม่มี HSS เกิดขึ้น ที่ค่า pH เท่ากับ 10 นี้ยังพบว่าอัตราส่วนระหว่าง ซิลิกาต่อเนื้อยาง เท่ากับ 6:1 เกิดทรงกลมตันซิลิกามากกว่า ที่อัตราส่วนเท่ากับ 5:1 การเกิดทรงกลมตันนี้อีกทำให้สูญเสียซิลิกาที่ควรจะไปเกาะลงบนสารแม่แบบ ส่งผลให้ความหนาเปลือกที่อัตราส่วนซิลิกาต่อเนื้อยาง เท่ากับ 6:1 บางกว่านั่นเอง HSS ที่สังเคราะห์ได้ในงานนี้ยังคงจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนอยู่ อย่างไรก็ตามยังจำเป็นต้องหาสภาวะการ

สังเคราะห์ที่เหมาะสมที่ทำให้การกระจายตัวของ HSS ดีขึ้นจนสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ต่อไป เช่น การขนส่งยา การเป็นตัวสนับสนุนตัวเร่งปฏิกิริยา การดูดซับของเสีย เป็นต้น

6. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้พบว่า HSS ยังคงจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนอยู่ ต้องทำการพัฒนาเพื่อปรับปรุงการกระจายตัวของ HSS และหาวิธีการสังเคราะห์ที่จะทำให้ทรงกลมไม่เกาะกันเอง อาจจะได้ด้วยการปรับสัดส่วนของสารในของผสม ความแรงในการกวนของผสม ภาชนะที่ใช้อบ เป็นต้น

7. เอกสารอ้างอิง

- Aljama, H. 2010. **Surface modification of silica nanoparticles using surface coupling agents**. Baccalaureate degree Thesis, The Pennsylvania State University.
- Chen, J., Z. Xue, S. Feng, B. Tu and D. Zhao. 2014. Synthesis of mesoporous silica hollow nanospheres with multiple gold cores and catalytic activity. **Journal of Colloid and Interface Science**. 429: 62–67.
- El-Toni, A.M., M.A. Habila, M.A. Ibrahim, J.P. Labis and Z.A. Allothman. 2014. Simple and facile synthesis of amino functionalized hollow core-mesoporous shell silica spheres using anionic surfactant for Pb(II), Cd(II), and Zn(II) adsorption and recovery. **Chemical Engineering Journal**. 251: 441–451.
- Ibrahim, I.A.M., A.A.F. Zikry and M.A. Sharaf. 2010. Preparation of spherical silica nanoparticles: stober silica. **Journal of American Science**. 6: 985–989.
- Jayanthy, T. and P.E. Sankaranarayanan. 2005. Measurement of dry rubber content in latex using microwave technique **Measurement Science Review**. 5: 50–54.
- Jullaphan, O., T. Witton and M. Chareonpanich. 2011. Production of mesoporous silica adsorbent from natural solid wastes. **Kasetsart Engineering Journal**. 75: 103–120.
- Phatharachindanuwig, C. 2014. **The study of silica synthesized from sodium silicate using natural rubber as a template**. Master's degree Thesis, Kasetsart University.
- Phatharachindanuwig, C., N. Hansupalak, M. Chareonpanich, Y. Chisti, J. Limtrakul and J. Plank. 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.
- Wang, F., Y. Tang, B. Zhang, B. Chen and Y. Wang. 2012. Preparation of novel magnetic hollow mesoporous silica microspheres and their efficient adsorption. **Journal of Colloid and Interface Science**. 386: 129–135.
- Wang, T., W. Man, J. Shangguan, W. Jiang and Q. Zhong. 2014. Controllable synthesis of hollow mesoporous silica spheres and application as support of nano-gold. **Journal of Solid State Chemistry**. 215: 67–73.

- Yoo, B.U., M.H. Han, H.H. Nersisyan, J.H. Yoon, K.J. Lee and J.H. Lee. 2014. Self-templated synthesis of hollow silica microspheres using Na_2SiO_3 precursor. **Microporous and Mesoporous Materials**. 190: 139–145.
- Zhen, L. and W. Shu-Bin. 2011. Investigation of hollow silica spheres with controllable size and shell thickness. **Journal of Inorganic Materials**. 26: 885–891.

การดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลามีน
ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค
CARBON DIOXIDE ABSORPTION BY MONOETHANOLAMINE
SOLUTIONS IN A MICROCHANNEL REACTOR

ศิริณญา ทองเสมอ

นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : Sirinrin2015@gmail.com

อรรถศักดิ์ จารีย์

รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : fengasj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกดูดซึมทางเคมีด้วยสารละลายโมโนเอทานอลามีน (Monoethanolamine) เพื่อเพิ่มค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพและเพื่อลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ โดยงานวิจัยนี้ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคชนิด T (T-type microchannel) ขนาด กว้าง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตรและลึก 0.5 มิลลิเมตร เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่ อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง CO_2 :MEA ตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:5 อัตราการไหลของสารละลายโมโนเอทานอลามีนเป็น 3-5 มิลลิลิตรต่อนาที ความดันไม่เกิน 3 บาร์ อุณหภูมิไม่เกิน 50 °C ก๊าซที่ใช้ในการทดลองคือ CO_2/N_2 และก๊าซชีวภาพ จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วน CO_2 :MEA ที่ดีที่สุดคือ 1:5 อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 °C และความดัน 3 บาร์ โดยประสิทธิภาพการดูดซึมที่ดีที่สุดในการทดลองให้ประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 99

คำสำคัญ: ก๊าซชีวภาพ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การดูดซึมทางเคมี โมโนเอทานอลามีน

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO_2) was absorbed by Monoethanolamine (MEA) solution in order to increase the heating value of biogas and to reduce CO_2 emissions into the atmosphere. A T-type microchannel reactor with width 0.5 mm, length 60 mm, and deep 0.5 mm, was used. This research aimed to study the operating conditions in CO_2 absorption process using MEA solutions as an absorbent for CO_2 capture, such as the molar ratio of CO_2 to MEA between 1:1 to 1:5, MEA flow rate 3-5 ml/min, pressure 1-3 bar, temperature 30-50 °C, gas phase were CO_2/N_2 and biogas. The optimal condition in this research were the molar ratio of MEA to CO_2 1:5, 30 °C and pressure 3 bar. The CO_2 absorption efficiency was higher than 99%.

KEYWORDS: Biogas, Carbon dioxide, Chemical absorption, Monoethanolamine

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากจะส่งผลให้ค่าพลังงานความร้อนลดลง โดยค่าความร้อนสำหรับก๊าซมีเทนบริสุทธิ์จะมีความร้อนเท่ากับ 35.64 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร แต่ถ้าก๊าซชีวภาพที่มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับร้อยละ 60 ต่อ 40 จะมีค่าความร้อนรวมเพียง 21.6 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตรเท่านั้น (Metcaif and Eddy, 2004) นอกจากนี้แล้วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศนั้นยังส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม การแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ capture process) ทำให้หลายวิธี เช่น การดักจับด้วยน้ำ การใช้เยื่อเลือกผ่านและการดูดซึมทางเคมี เป็นต้น

การดูดซึมทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการดักจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากให้ประสิทธิภาพการดักจับที่ดีและราคาถูก สารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการคือ สารละลายเอมีน แอมโมเนียและโพแทสเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น โดยสารละลายเอมีนเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสารละลายเอมีนมีข้อดีคือ ทนต่อความร้อนและยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยให้ความร้อนและทำการลดความดัน (Gary T. R. *et al.*, 2007) สารละลายเอมีนที่นิยมใช้ได้แก่ สารละลายโมโนเอทานอลามีน (MEA) ไดเอทานอลามีน (DEA) และเมธิลไดเอทานอลามีน (MDEA) เป็นต้น หน่วยปฏิบัติการที่นิยมใช้ในกระบวนการดูดซึมมีดังนี้ หอดูดซึมแบบสปริ้ง (Spray Tower) แพคคอลัมน์ (Packed Column) เพลทคอลัมน์ (Plate Column) และเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค (Microchannel Reactor) การเลือกใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบคอลัมน์นั้น จะทำให้เกิดความดันตกคร่อมที่สูง โดยเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค (Microchannel Reactor) เป็นเครื่องปฏิกรณ์ที่มีช่องภายในเครื่องขนาดเล็กระดับไมโครเมตร โดยจะให้สารไหลผ่านช่องจุลภาค ทำให้เกิดการถ่ายเทมวลได้ดี สามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว ระบายความร้อนได้ในอัตราที่สูงโดยใช้อัตราการไหลที่ต่ำกว่า มีความกะทัดรัดของอุปกรณ์สูง ประหยัดพลังงานและการเพิ่มกำลังการผลิตยังไม่มีผลกระทบต่อความดันตกคร่อมอีกด้วย

บทความนี้รายงานปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายโมโนเอทานอลามีนเป็นสารดูดซึม สภาวะที่ใช้ในการทดลองจะแบ่งเป็น 2 สภาวะคือ CO₂/N₂ และก๊าซชีวภาพ เครื่องปฏิกรณ์ที่ใช้คือ เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคชนิด T (T-type microchannel) ขนาด กว้าง 0.5 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตรและลึก 0.5 มิลลิเมตร

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยใช้สารละลายเอมีนในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของความดัน อุณหภูมิและสัดส่วนโดยโมลระหว่างสารละลายเอมีนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสภาวะจำลองและก๊าซชีวภาพ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. โมโนเอทานอลามีน 97% จาก AJAX FINECHEM PTY LTD.
2. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 99.9% จาก PRAXAIR (THAILAND) CO., LTD.
3. ก๊าซไนโตรเจน 99.9% จาก TIG CO., LTD.
4. ก๊าซชีวภาพจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีองค์ประกอบหลักดังต่อไปนี้
 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 37
 ก๊าซมีเทนร้อยละ 63
 ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 21 ppm
5. เครื่องวัดก๊าซ Gas Detector รุ่น 4 Gas CH₄/ CO₂/ O₂/ H₂S Multi Gas Detector Model SA-M 203 ยี่ห้อ SHIANTECH สำหรับวิเคราะห์ปริมาณ CO₂ ในก๊าซผสม
6. ปิ๊มชนิด HPLC (High performance liquid chromatography) รุ่น 2150 จาก LKB bromma
7. เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคชนิด T แบบแยกวัฏภาค โดยมีขนาดของช่องจุลภาค 0.5×0.5 มิลลิเมตรและความยาวของช่องจุลภาค 60 มิลลิเมตร

3.2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. อัตราส่วนโดยโมล CO₂ : MEA ตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:5
2. ความดัน 1 2 และ 3 บาร์
3. อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C
4. อัตราการไหลของสารละลายโมโนเอทานอลามีน 3 4 และ 5 ml/min

3.3 ขั้นตอนการเตรียมการก่อนการทดลอง

ในการทดลองนี้จะทำการให้อัตราการไหลของก๊าซคงที่ นั่นคือ โมลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะคงที่ด้วย การคำนวณโมลของก๊าซหาจากสมการ:

$$n = PV/RT$$

เมื่อ n คือ โมลของก๊าซ P คือ ความดัน R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ และ V คือ อัตราการไหลโดยปริมาตรของก๊าซ หลังจากนั้นจะทำการหาความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลามีนที่ใช้ในระบบจากความสัมพันธ์:

$$n = \frac{m}{M_w}$$

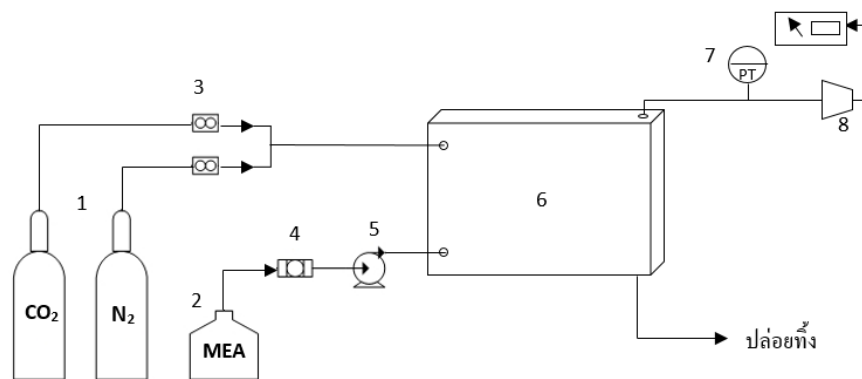
เมื่อ m และ M_w คือ มวลและมวลโมเลกุลของสารละลายโมโนเอทานอลามีน โดยคิดจากความหนาแน่นรวมระหว่างสารละลายโมโนเอทานอลามีนกับน้ำ

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อท่อจากถังก๊าซเข้าเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคโดยผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของก๊าซ
2. ต่อท่อจากบีกเกอร์ใส่สารละลายโมโนเอทานอลามีนโดยผ่านปิ๊ม HPLC
3. ก๊าซขาออกต่อเข้ากับเครื่องวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
4. ขาออกของของเหลวทำการปล่อยทิ้ง

5. ทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เหลือในก๊าซผสมทุกๆ 1 นาทีเป็นเวลาทั้งหมด 30 นาที

โดยลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทำการทดลองแสดงดังภาพที่ 1



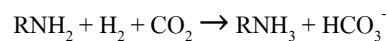
ภาพที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

1. ถังก๊าซ 2. บีกเกอร์ใส่สารดูดซึม 3. เครื่องวัดอัตราการไหลโดยมวล 4. ตัวกรอง 5. ปั๊ม 6. เครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค 7. เครื่องวัดความดันก๊าซ 8. เครื่องปรับความดันย้อนกลับ 9. เครื่องวัดปริมาณก๊าซ CO₂

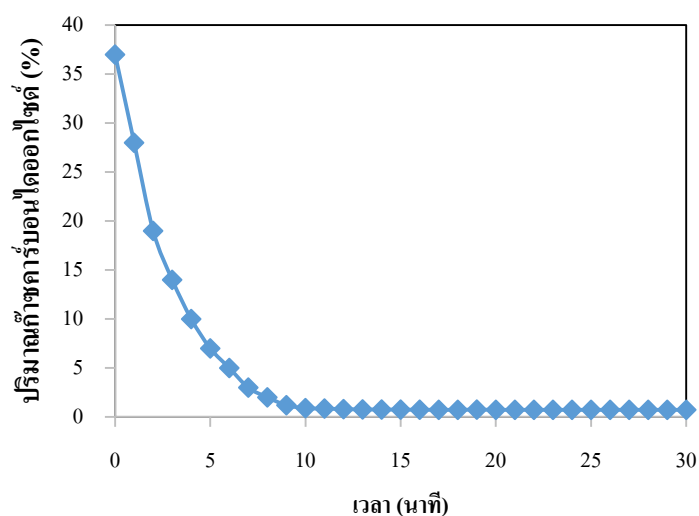
ผลการทดลองและวิจารณ์

1. การดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายโมโนเอทาโนลามีน

สารละลายโมโนเอทาโนลามีนสามารถดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ โดยมีปฏิกิริยาเคมีดังนี้:



ในแต่ละการทดลองปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อยๆ ลดลง เข้าสู่สมดุลและคงที่ในที่สุดดังภาพที่ 2 นั้นหมายความว่าสารละลายโมโนเอทาโนลามีนสามารถดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาค

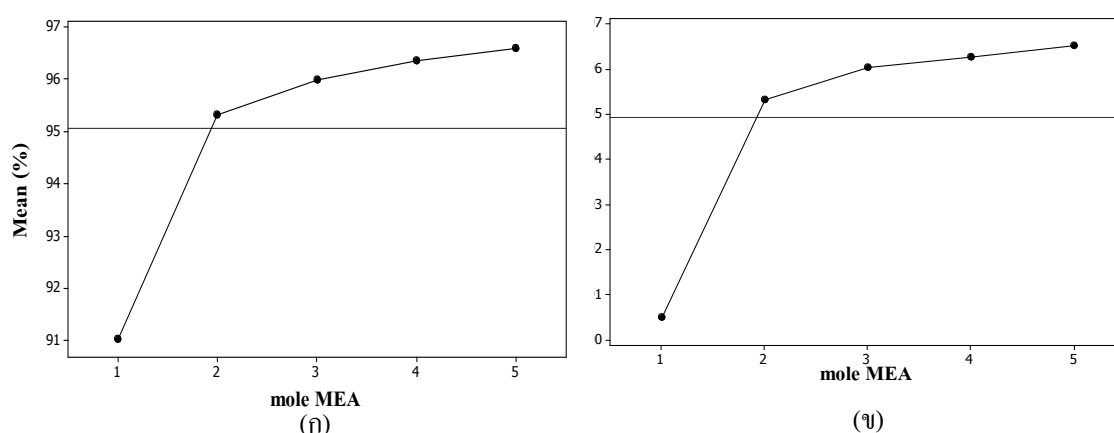


ภาพที่ 2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อเวลา

สภาวะจำลอง อัตราส่วน CO₂ : MEA เป็น 1:5 ความดัน 3 บาร์ อัตราการไหล MEA 3 ml/min

2. ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายโมโนเอทานอลามีน

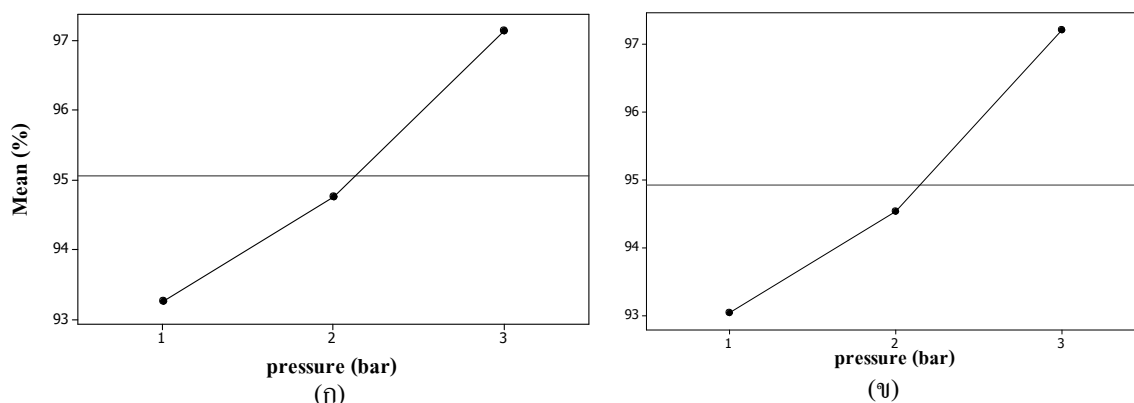
การทดลองพบว่าแนวโน้มของประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนโดยโมล $\text{CO}_2:\text{MEA}$ เพิ่มขึ้น ผลการทดลองของสภาวะจำลองแสดงดังภาพที่ 3(ก) และสภาวะก๊าซชีวภาพแสดงดังภาพที่ 3(ข) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของเนื้อสารโมโนเอทานอลามีนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลระหว่างวัฏภาคก๊าซกับของเหลว Ye *et al.* (2013) ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Zhu *et al.* (2014) และ Ye *et al.* (2013) ที่กล่าวว่า อัตราส่วนโดยโมล $\text{CO}_2:\text{MEA}$ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซึมที่ดีขึ้น



ภาพที่ 3 ผลของอัตราส่วนโดยโมลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
(ก) สภาวะจำลอง (ข) สภาวะก๊าซชีวภาพ

3. ผลของความดัน

ผลการทดลองที่สภาวะความดันสูงพบว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ดีกว่าที่สภาวะความดันของระบบต่ำ โดยกราฟแสดงผลกระทบของความดันในสภาวะจำลองแสดงดังภาพที่ 4(ก) และที่สภาวะก๊าซชีวภาพแสดงดังภาพที่ 4(ข) เนื่องจากว่าสมดุลของการละลายระหว่างก๊าซกับวัฏภาคของเหลวเพิ่มขึ้นตามความดัน (Mathonat *et al.*, 1998) และเวลาในการสัมผัสกันระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารละลายโมโนเอทานอลามีนจะนานขึ้นที่สภาวะความดันสูง เนื่องมาจากการอัดตัว (compressibility) ของวัฏภาคก๊าซ (YE *et al.*, 2012) ซึ่งความดันที่ดีที่สุดสำหรับการทดลองนี้คือ 3 บาร์ โดยผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Mathonat *et al.* (1998) และ YE *et al.* (2012) ที่กล่าวว่าประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความดันของระบบมีค่ามากขึ้น

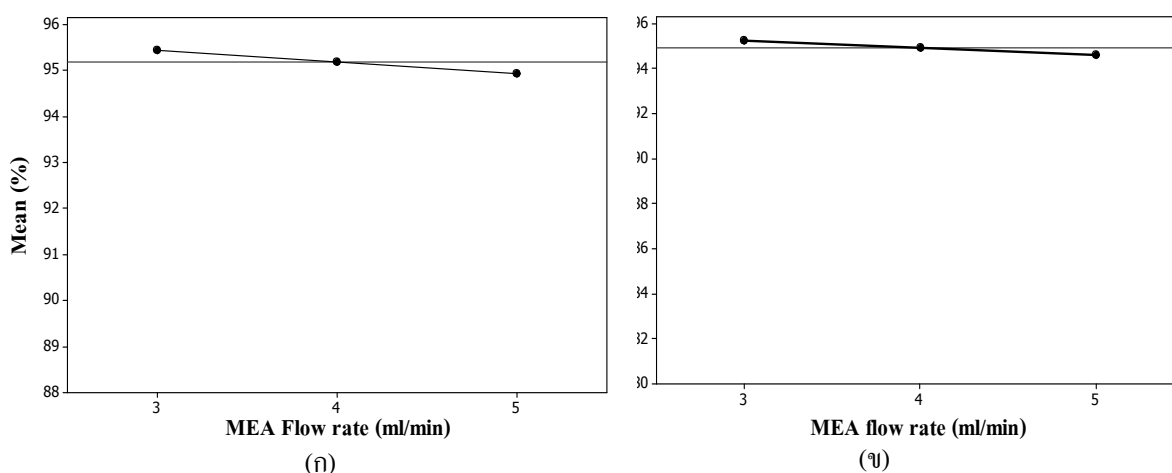


ภาพที่ 4 ผลของความดันต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ก) สภาวะจำลอง (ข) สภาวะก๊าซชีวภาพ

4. ผลของอัตราการไหลโดยปริมาตรของสารละลายโมโนเอทานอลามีน

การทดลองพบว่าอัตราการไหลโดยปริมาตรของสารละลายโมโนเอทานอลามีนไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับสภาวะจำลองแสดงดังภาพที่ 5(ก) และสภาวะก๊าซชีวภาพแสดงดังภาพที่ 5(ข) เนื่องจากการทดลองนี้ได้กำหนดให้อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง CO_2 :MEA คงที่ แม้ว่าจะเปลี่ยนอัตราการไหลให้ต่ำลงก็จะทำการเพิ่มร้อยละโดยมวลของโมโนเอทานอลามีนให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อที่จะคงอัตราส่วนโดยโมลให้มีค่าเท่าเดิม ดังนั้นจากทุกๆ การทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการถ่ายโอนมวลในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคนี้มีค่าที่สูงมากๆ จึงทำให้อัตราการไหลของสารละลายโมโนเอทานอลามีนไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตัวแปรที่ส่งผลจึงเป็นอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง CO_2 :MEA ดังนั้นการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถเลือกได้ว่าให้อัตราการไหลที่น้อยแต่ความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลามีนที่มาก หรือให้อัตราการไหลที่มากแต่ความเข้มข้นของสารละลายโมโนเอทานอลามีนน้อย เพราะไม่ว่าอัตราการไหลเท่าใดก็ตามแต่ถ้ายังคงอัตราส่วนโดยโมลระหว่าง CO_2 :MEA คงที่ ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ยังคงเป็นเช่นเดิม

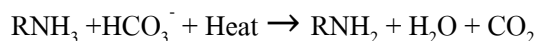


ภาพที่ 5 ผลของอัตราการไหลของ MEA ต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

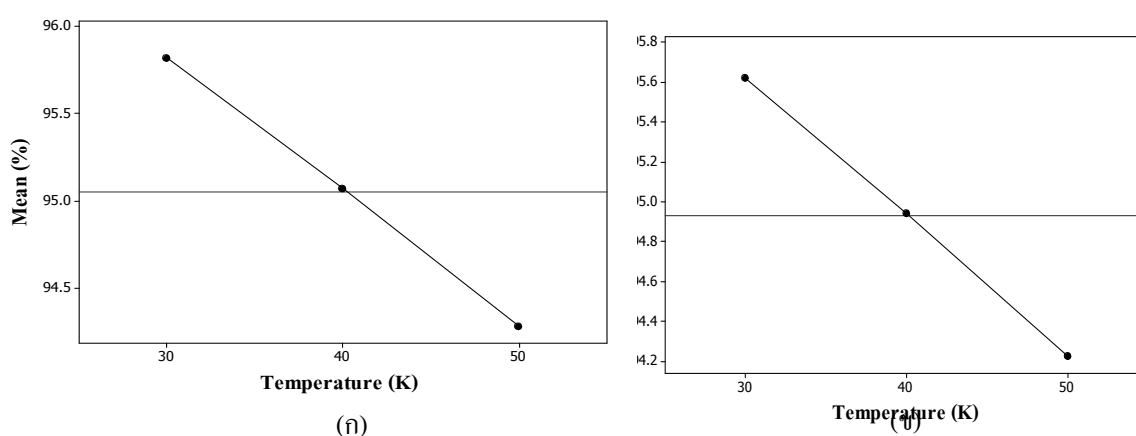
(ก) สภาวะจำลอง (ข) สภาวะก๊าซชีวภาพ

5. ผลของอุณหภูมิ

การที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต่ำลงเนื่องจากว่าปฏิกิริยาการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยสารละลายโมโนเอทาโนลามีนนั้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (exothermic) ดังสมการ:



เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับซึ่งคือ การเกิดการคายออกของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (desorption) (Liu *et al.*, 2015) ซึ่งทำให้ปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในวัฏภาคของเหลวที่อุณหภูมิสูงมีปริมาณน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง



ภาพที่ 6 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

(ก) สภาวะจำลอง (ข) สภาวะก๊าซชีวภาพ

6. สรุปผลการวิจัย

สารละลายโมโนเอทาโนลามีนสามารถดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบช่องจุลภาคได้ โดยมีประสิทธิภาพการดูดซึมอยู่ในช่วงร้อยละ 80-99 ทุกๆ ปัจจัยส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ยกเว้นอัตราการไหลของสารละลายโมโนเอทาโนลามีน สภาวะที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนโดยโมล $\text{CO}_2:\text{MEA}$ เป็น 1:5 ความดัน 3 บาร์ และอุณหภูมิห้อง

7. รายการอ้างอิง

- Gary, T. R., S. Frank., C. Fred, C. Tim, D. Jason, G, George, H. Marcus, M. John, M. P. Jorge, S. Andrew, V. W. David, X. Qing, V. Amornvadee and N. Manjula. 2007. **CO₂ capture by Absorption with Potassium Carbonate**. Department of Chemical Engineering. The University of Texas at Austin and the University of Regina, Saskatchewan.
- Liu, Y., W. Fan, K. Wang, and J. Wang. 2015. Studies of CO₂ absorption/regeneration performances of novel aqueous Monothanlamine (MEA)-based solutions. **Journal of Cleaner Production**. 1-10.

- Mathonat, C., V. Majer, A. E. Mather and J. P. E. Grolier. 1998. Use of Flow Calorimetry for Determining Enthalpies of Absorption and the Solubility of CO₂ in Aqueous Monoethanolamine Solutions. **Ind. Eng. Chem. Res.** 37: 4136-4141.
- Metcaif, L. and H. P. Eddy. 2004. Wastewater Engineering: Treatment. **Disposal and Reuse**. 4th Edition. McGraw-Hill. New york.
- Ye, C., C. Guangwen and Y. Quan. 2012. Process characteristics of CO₂ absorption by aqueous Monoethanolamine in a microchannel reactor. **Chinese Journal of Chemical Engineering** vol. 20. Issue 1: 111-119.
- Ye, C., M. Dang, C. Yao, G. Chen and Q. Yuan. 2013. Process analysis on CO₂ absorption by Monoethanolamine solutions in microchannel reactors. **Chemical Engineering Journal**. 225: 120-127.
- Zhu, C., C. Li, X. Gao, Y. Ma and D. Liu. 2014. A Taylor flow and mass transfer of CO₂ chemical absorption into MEA aqueous solutions in a T-junction microchannel. **International Journal of Heat and Mass Transfer**. 73: 492-499.

การวิเคราะห์ไอออนโลหะโดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ร่วมกับเทคนิคการแยกแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส

SIMULTANEOUS ANALYSIS OF FIVE METAL IONS USING COMPLEX FORMATION AND CAPILLARY ELECTROPHORETIC SEPARATION

Sasikarn Seetasang

MSc Candidate in Graduate Chemistry Program, Faculty of Science,

Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry,

Mahidol University

E-mail: Sasikarn_seetasang@hotmail.com

Rattikan Chantiwas

Assistant Professor, Faculty of Science,

Department of Chemistry and Center of Excellence for Innovation in Chemistry,

Mahidol University

E-mail: Rattikan.cha@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีแคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิสสำหรับการศึกษาไอออนโลหะ 5 ชนิด คือนิกเกิล คอปเปอร์ โคบอลต์ ชิงค์และแคดเมียม โดยการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับออร์โท-ฟีนแอนทรีน (*ortho*-phenanthroline) ด้วยสภาวะการแยกที่เหมาะสม คือ ใช้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูง 20 กิโลโวลต์ (360 โวลต์ต่อเซนติเมตร) และวิธีการนำสารเข้าสู่ระบบแบบอิเล็กโตรไคเนติก (Electrokinetic injection) (เวลา 2 วินาที โดยศักย์ไฟฟ้าแรงสูง 360 โวลต์ต่อเซนติเมตร โดยจะสามารถคำนวณปริมาตรได้ประมาณ 12 นาโนลิตร) ในการแยกไอออนโลหะทั้ง 5 ชนิด ใช้เวลาภายใน 6 นาที และมีช่วงความเป็นเส้นตรงของไอออนโลหะทั้ง 5 ชนิด โดยสารประกอบเชิงซ้อนโลหะนิกเกิลมีช่วง 2.5-150 ไมโครโมลาร์ โดยที่สารประกอบเชิงซ้อนโลหะโคบอลต์มีช่วง 5.0-150 ไมโครโมลาร์ และสารประกอบเชิงซ้อนโลหะชิงค์ คอปเปอร์และแคดเมียมมีช่วง 15-250 ไมโครโมลาร์ และความเที่ยงของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่และพื้นที่ใต้กราฟของพีค มีค่าเท่ากับ 1.5 %RSD และ 15 %RSD ตามลำดับ โดยได้นำวิธีการที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโลหะในเครื่องคีมชั่งกำลัง

คำสำคัญ: แคปิลลารีอิเล็กโตรโฟรีซิส, สารประกอบเชิงซ้อนโลหะ, ออร์โท-ฟีนแอนทรีน, เครื่องคีมชั่งกำลัง

ABSTRACT

Development of capillary electrophoresis method for simultaneous determination of five metal ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+}) is described. The method is based on complex formation with *ortho*-phenanthroline. The optimal capillary electrophoresis conditions were: HV 20 kV (360 V cm^{-1}), electrokinetic injection (2 s at 360 V cm^{-1} , *ca.* 12 nL). Separation of the five metal ions was achieved in 6 min. Linear calibration ranges of the metal ions were 2.5-150 μM for Ni complex, 5.0-150 μM for Co complex and 15-250 μM for Zn, Cu, and Cd complexes. Precision of migration times and peak areas were 1.5 %RSD and 15 %RSD, respectively. The method was applied to analysis of metal ions in energy drink samples.

KEY WORD: Capillary electrophoresis, Metal complex, *Ortho*-phenanthroline (*o*-phen), Energy drink

INTRODUCTION

Investigation of metal ions has been carried out by spectroscopy (Nagabhushana, Chandrappa, Nagappa, & Nagaraj, 2002) which is highly sensitivity, short analysis time and simple instrumentation. However, simultaneous analysis of metal ions by this technique is difficult. Chromatographic techniques including high-performance liquid chromatography (HPLC) (Ramesh, 1994), gas chromatography (GC) (Szczepaniak, Nawrocki, & Wasiak, 1979) and capillary electrophoresis (CE) (Saito, Sasamura, & Hoshi, 2005; Swaile & Sepaniak, 1991) have been employed for simultaneous analysis of metal ions. However, GC and HPLC techniques suffer from long analysis time, large consumption of eluent and high cost of special column (Wang, Lin, Qu, Shan, & Chen, 2004). Thus, capillary electrophoresis (CE) has been selected as an alternative method to HPLC and GC because of its advantages, such as high separation efficiency, low sample and reagent consumption, rapid analysis, matrix-independent and more cost effective (Buchberger, Semenova, & Timerbaev, 1993; Fung & Lau, 2006)

Metal ions are transparent towards ultraviolet and visible radiation. Therefore, complex formation with ligand is required to convert the metal ions into complexes which absorb in the ultraviolet and visible region. Suitable ligands for metal complex formation include cyanide (Buchberger et al., 1993), 4-(2-thiazolylazo) resorcinol (TAR) (Wang et al., 2004), ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) (Threeprom, Som-Aum, & Lin, 2006), 4-(2-pyridylazo) resorcinol (PAR) (Feng, Wang, & Fong Yau Li, 2003) and diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA) (Buchberger & Mülleder, 1995). For CE separation, the use of uncharged ligand, such as 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN), *ortho*-phenanthroline (*o*-phen) and 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS) (Boonchiangma, Kukusamude, Ngeontae, & Srijaranai, 2014; Cheng & Bray, 1955), provides short analysis time. These metal ligand complexes are cationic and move faster toward the cathodic electrode than neutral and anionic metal complexes (Boonchiangma et al., 2014).

CE has been used for determination of metal ions in various beverages, such as wine (Boonchiangma et al., 2014; Santalad, Burakham, Srijaranai, & Grudpan, 2007), tea (Feng et al., 2003), and fruit juice (Fung & Lau, 2006). However, there are no reports of use of CE for monitoring metal in energy drink. Small amount of metal ions, such as Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , and Fe^{2+} , are often added in energy drink. These metal ions are necessary for bodily function and nervous system (Jamaluddin Ahmed & Jakir Hossan, 2008; Rink, 2000). Therefore, sensitive CE method for detection metal ions in energy drink is suitable for quality control and information to consumer.

In this work, we compared the efficiency of PAN, *o*-phen and DNS as metal ligand for separation and detection of five metal ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+}) by CE with UV detection. The developed CE method was applied for determination of these metal ions in energy drink.

AIM OF THIS RESEARCH

To develop a simple capillary electrophoresis method for simultaneous determination of metal ions using metal complex formation. The method was applied to analyze metal ion content in energy drink samples.

EXPERIMENT

Chemical

All chemical was analytical grade. Standard solutions of metal ions were prepared from $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ (Unilab), CoCl_2 (Sigma Aldrich), ZnCl_2 (Merck), $\text{CdN}_2\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Fluka). The ligands, 1-(2-pyridylazo)-2-naphthol (PAN), *ortho*-phenanthroline (*o*-phen) and 3, 5-dinitrosalicylic acid (DNS), were supplied by Merck and Sigma Aldrich. Acetate running buffer (100 mM, pH 5.5) was prepared from sodium acetate trihydrate (Merck) and glacial acetic acid (RCI Labscan Limited). Methanol (RCI Labscan Limited) was used as organic additive in running buffer. Caffeine (Sigma Aldrich) was used as the internal standard (IS).

Chemical preparation

Mixture of standard metal ions was freshly prepared by diluting 10 mM stock solution with ultrapure water ($18.0 \text{ M}\Omega\text{cm}^{-1}$, Easypure II system, Barnstead International). Caffeine IS was added to the standard mixture. Acetate buffer (100 mM) was prepared from sodium acetate trihydrate and adjusted to pH 5.5 with glacial acetic acid. The CE running buffer composed of acetate buffer: methanol (60:40 (v/v)). *O*-phen and DNS were prepared in deionized water. PAN was prepared in MeOH.

Capillary electrophoresis instrument

The capillary electrophoresis system was laboratory assembled. It consisted of a high voltage (HV) power supply (Spellman CZE1000R, Hauppauge, USA), a UV detector (Model 785A UV detector, Applied Biosystems, Foster City, USA) and a fused-silica capillary (Polymicro Technologies, USA). The safety box was made from Plexiglass. The UV signal was recorded by e-corder Model ED201 (eDAQ Pty Ltd., Australia) with eDAQ Chart software 5.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Selection of ligand for metal complex formation

Offline complex formation between metal ions and excess ligand was carried out before introduction into the CE system. Fig. 1 shows the electropherogram of PAN (Fig. 1a), *o*-phen (Fig. 1b) and DNS (Fig. 1c) as ligand for complex formation with the five metal ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+}). At the selected conditions, *o*-phen formed complexes with more metal ions than DNS and PAN. *O*-phen provided stable and positively charged complexes with strong chromophore in the UV region. The detection wavelength was 280 nm.

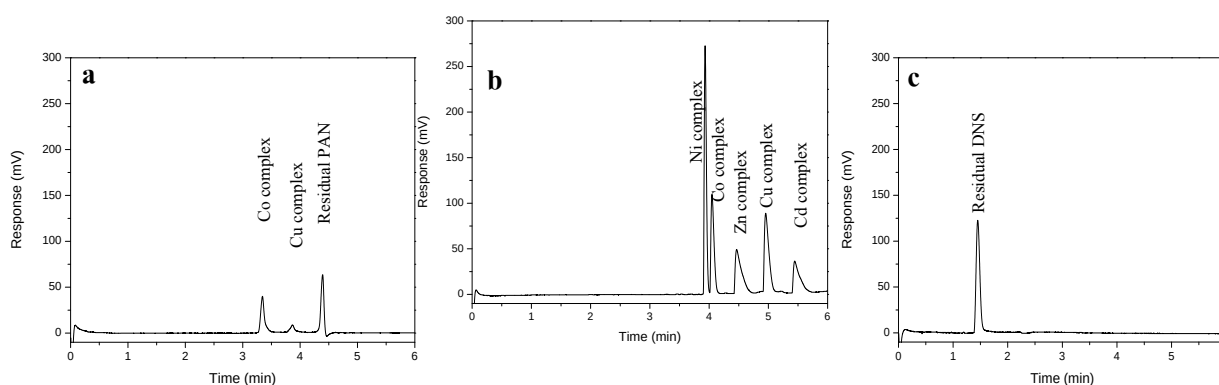


Figure 1 Electropherograms of metal complexes using (a) PAN, (b) *o*-phen, and (c) DNS as ligand.

Capillary electrophoresis condition: Study of injection volume and HV for separation

Study of HV

The effect of HV on the separation was carried out by selecting voltage of 10 kV (180 Vcm^{-1}), 15 kV (270 Vcm^{-1}), 20 kV (360 Vcm^{-1}), and 25 kV (450 Vcm^{-1}). Faster analysis times but poor peak resolutions were observed for elevated HV voltage. The metal complexes were well separated in the 10-20 kV range, whereas at 25 kV, Ni and Co complexes overlapped. A voltage of 20 kV was therefore chosen.

Study of injection volume

Fig. 2 shows the effect of injection volume using electrokinetic injection. By varying the injection times of 1.0 s, 2.0 s, 4.0 s, and 8.0 s with the same field strength of 360 Vcm^{-1} , estimated injection volumes were *ca.* 6 nL, *ca.*

12 nL, *ca.* 24 nL, and *ca.* 48 nL, respectively (Weinberger, 2000). The higher the injection volume the higher is the signal but the peak resolution is reduced. The injection time of 2.0 s was chosen because peak resolution was greater than 1.0 for all five peaks of the metal ions. In Fig. 2, the peaks for Ni complex and Co complex are not baseline separated for injection time of 4.0 s and they overlapped at the higher injection time (8.0 s) (top electropherogram, Fig. 2).

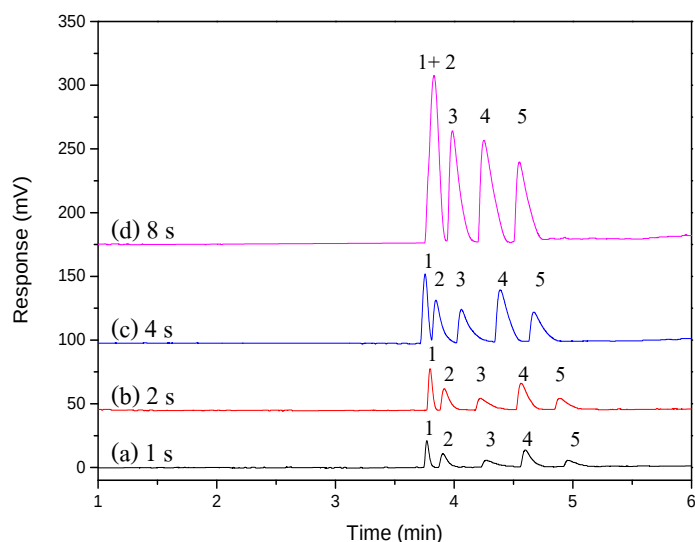


Figure 2 Electropherograms of effect of injection volume of five standard metal ions (100 mM of (1) Ni^{2+} , (2) Co^{2+} , (3) Zn^{2+} , (4) Cu^{2+} , and (5) Cd^{2+}) at *ca.* 6 nL, *ca.* 12 nL, *ca.* 24 nL, and *ca.* 48 nL for injection time of (a) 1 s, (b) 2 s, (c) 4 s, and (d) 8 s, respectively. CE conditions were; acetate buffer (100 mM, pH 5.5) containing 40 %MeOH (v/v), separation voltage 20 kV and detection wavelength 280 nm.

Calibration curve and limit of detection/quantitation

Linear calibration equations of metal ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+}) are given in Table 1. All metal ions showed good linearity in range 5.0-250 μM with $r^2 > 0.99$. The limits of detection (LODs) were 2.5-5.0 μM and limits of quantification (LOQs) were 5.0-15 μM . The analytical performances were studied for precision of migration time and peak area. The stability of CE system was shown by precision of migration times which were less than 1.5 %RSD for all metal complexes. The precision of peak area of five metal complexes were less than 15 %RSD for repeated injection of standard mixture at LOQs concentration. Therefore, this developed method can be used for quantitative analysis.

Table 1 The analytical performance of the developed method under the selected condition

Metal complex	Linear equation	Correlation coefficient (r^2)	Working range (μM)	LOD (μM)	LOQ (μM)
Ni	$y = 7.317x - 18.284$	0.9993	5.0-150	2.5	5.0
Co	$y = 4.154x - 14.148$	0.9995	15-150	5.0	15
Zn	$y = 3.927x - 19.114$	0.9990	15-250	5.0	15
Cu	$y = 5.878x - 76.186$	0.9953	15-250	5.0	15
Cd	$y = 3.501x - 53.233$	0.9949	15-250	5.0	15

Determination of metal ions in energy drink

Two samples of energy drink (Sample A and Sample B) were analyzed. The samples were diluted with running buffer (20 μL in 180 μL buffer). The CE conditions are as given in Fig 2. It was found that the energy drink samples contained zinc, with measured amounts given in Table 2. Percentage recoveries of Sample A and B were 101 % and 116 %, respectively. Percentage difference between the measured amount and the label amount were 12 % for Sample A and 2 % for Sample B, respectively.

Table 2 Zinc content in energy drink (Samples A and B) and recovery study

Sample	Measured amount (μM)	Labeled amount (μM)	Percentage recovery ($\pm\text{SD}$)
A	212 $\pm$ 3	189	116 % ($\pm$ 2)
B	380 $\pm$ 6	373	101 % ($\pm$ 2)

CONCLUSION

Development of a simple capillary electrophoresis with UV detection for the simultaneous analysis of five metal ions (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , Zn^{2+} , and Cd^{2+}) as their *o*-phen complex was carried out. The method was applied to determination of metal ions in two energy drink samples. Only zinc ions were detected in both samples and the measured amount was comparable to the label value.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financially supported by Development and Promotion of Science and Technology Talents Project (DPST) and Faculty of Graduate Studies, Mahidol University. The authors would like to thank the Centre of Excellence for Innovation in Chemistry (PERCH-CIC) and the Faculty of Science, Mahidol University, for providing the facilities to this work.

REFERENCES

- Boonchiangma, S., Kukusamude, C., Ngeontae, W., & Srijaranai, S. (2014). In-Capillary Derivatization and Preconcentration for CE of Metal Ions as Their Phenanthroline Complexes. **Chromatographia**, **77**(3-4), 277-286.
- Buchberger, W., & Mülleder, S. (1995). Determination of chelating agents and metal chelates by capillary zone electrophoresis. **Microchimica Acta**, **119**(1-2), 103-111.
- Buchberger, W., Semenova, O. P., & Timerbaev, A. R. (1993). Metal ion capillary zone electrophoresis with direct UV detection: Separation of metal cyanide complexes. **Journal of High Resolution Chromatography**, **16**(3), 153-156.
- Cheng, K. L., & Bray, R. H. (1955). 1-(2-Pyridylazo)-2-naphthol as Possible Analytical Reagent. *Analytical Chemistry*, **27**(5), 782-785.
- Feng, H., Wang, T., & Fong Yau Li, S. (2003). Sensitive determination of trace-metal elements in tea with capillary electrophoresis by using chelating agent 4-(2-pyridylazo) resorcinol (PAR). **Food Chemistry**, **81**(4), 607-611.
- Fung, Y. S., & Lau, K. M. (2006). Separation and determination of cations in beverage products by capillary zone electrophoresis. **Journal of Chromatography A**, **1118**(1), 144-150.
- Jamaluddin Ahmed, M., & Jakir Hossan, K. (2008). A rapid spectrophotometric method for the determination of cobalt in industrial, environmental, biological, pharmaceutical and soil samples using bis(5-bromosalicylaldehyde)orthophenylenediamine. **Journal of the Iranian Chemical Society**, **5**(4), 677-688.
- Nagabhushana, B., Chandrappa, G., Nagappa, B., & Nagaraj, N. (2002). Diформylhydrazine as analytical reagent for spectrophotometric determination of iron(II) and iron(III). **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, **373**(4-5), 299-303.
- Ramesh, A. (1994). Simultaneous determination of ruthenium, osmium and palladium by reversed-phase HPLC using 4-(2'-thiazolylazo) resacetophenone oxime as chelating reagent. **Talanta**, **41**(3), 355-358.
- Rink, L. (2000). Zinc and the immune system. **Proceedings of the Nutrition Society**, **59**(04), 541-552.
- Saito, S., Sasamura, S., & Hoshi, S. (2005). Simultaneous detection of [metal(ii)-tpen]²⁺ as kinetically inert cationic complexes using pre-capillary derivatization electrophoresis: an application to biological samples. **Analyst**, **130**(5), 659-663. doi:10.1039/B417394E
- Santalad, A., Burakham, R., Srijaranai, S., & Grudpan, K. (2007). Field-amplified sample injection and in-capillary derivatization for capillary electrophoretic analysis of metal ions in local wines. **Microchemical Journal**, **86**(2), 209-215.

- Swaile, D. F., & Sepaniak, M. J. (1991). Determination of metal ions by capillary zone electrophoresis with on-column chelation using 8-hydroxyquinoline-5-sulfonic acid. **Analytical Chemistry**, **63**(2), 179-184.
doi:10.1021/ac00002a017
- Szczepaniak, W., Nawrocki, J., & Wasiak, W. (1979). Application of transition metal complex formation in gas chromatography, part I. **Chromatographia**, **12**(7), 484-493.
- Threeprom, J., Som-Aum, W., & Lin, J.-M. (2006). Determination of Pb(II), Cu(II) and Fe(III) with Capillary Electrophoresis Using Ethylenediaminetetraacetic Acid as a Complexing Agent and Vancomycin as a Complex Selector. **Analytical Sciences**, **22**(9), 1179-1184.
- Wang, M., Lin, J.-M., Qu, F., Shan, X., & Chen, Z. (2004). On-capillary complexation of metal ions with 4-(2-thiazolylazo)resorcinol in capillary electrophoresis. **Journal of Chromatography A**, **1029**(1-2), 249-254.
- Weinberger, R. (2000). Chapter 8 - Injection. In R. Weinberger, **Practical Capillary Electrophoresis (Second Edition)** (pp. 321-364). San Diego: Academic Press.

**การประเมินสมมูลพลังงานเพิ่มสุทธิและภาวะโลกร้อนของ
ดีโซฮอล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง
NET ENERY GAIN AND GLOBAL WARMING ASSESSMENT OF
DIESOHOL BY USING CASHEW NUT SHELL LIQUID
AS ADDITIVE**

เพ็ญพิชชา คลีสุวรรณ

นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : Kpenpicha@gmail.com

อรรถศักดิ์ จารีย์

รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : fengasj@ku.ac.th

อัญชลี สุวรรณมณี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

E-mail : unchalee@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันดีเซล และดีโซฮอล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง ใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต กำหนดหน่วยหน้าที่การทำงาน คือ น้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตร ขอบเขตการศึกษาเป็นแบบ Cradle to Gate จะเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการได้มาซึ่งวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงาน ไปจนถึงการผลิตผลิตภัณฑ์ในโรงงาน พบว่า สมมูลพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตน้ำมันดีเซลมีค่าสมมูลพลังงานเพิ่มสุทธิเป็นบวก เท่ากับ 1.31 แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงพลังงานที่ดี ส่วนดีโซฮอล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง มีค่าสมมูลพลังงานเพิ่มสุทธิติดลบ แสดงถึงให้เห็นถึงการสูญเสียพลังงานสุทธิ สำหรับผลกระทบต่อด้านภาวะโลกร้อนที่มีค่ามากที่สุดคือ ดีโซฮอล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง เท่ากับ 1.18 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

คำสำคัญ : สมมูลพลังงานเพิ่มสุทธิ ภาวะโลกร้อน ดีโซฮอล์ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

ABSTRACT

The aims of this study is to assess net energy gain and global warming of diesel and diesohol by using cashew nut shell liquid (CNSL) as additive. Life cycle assessment (LCA) technique was used. The functional unit is specified as 1 liter of fuel oil. Cradle to Gate starts from the process acquisition of raw materials, transportation of raw materials to the factory and production of products in factory. The results show that the total net energy gain (NEG) of diesel production has a positive values which was accounted 1.31 MJ/L. Diesohol with cashew nut shell liquid as additive has a negative net energy value indicating a net energy loss. The highest total global warming impact is diesohol with cashew nut shell liquid as additive about 1.18 kg CO₂ equivalent.

KEY WORDS : Net energy gain, Global warming, Diesohol, Cashew nut shell liquid

1. บทนำ

ในปัจจุบันน้ำมันดีเซลถือเป็นพลังงานเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่สำคัญในประเทศไทยเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ทำอุตสาหกรรมทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ ทำให้มีความต้องการน้ำมันดีเซลเป็นจำนวนมาก ใช้ในเครื่องยนตภาคการเกษตร และการขนส่ง เช่น รถกระบะ รถบรรทุก เรือโดยสาร เป็นต้น การใช้น้ำมันดีเซล ปี 2557 เหลืออยู่ที่ระดับ 57.7 ล้านลิตรต่อวัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อน 0.5 ล้านลิตรต่อวัน หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.8 คาดว่าเกิดจากปัจจัยด้านราคา และผลกระทบจากการปรับตัวลดลงของราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกตั้งแต่ไตรมาสที่ 2 ของปี 2557 โดยราคาขายปลีกเฉลี่ยน้ำมันดีเซล ปี 2557 อยู่ในระดับต่ำกว่า 30 บาทต่อลิตร (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) และในช่วง 3 เดือนแรกของปี 2558 มีการใช้น้ำมันดีเซลเหลืออยู่ที่ระดับ 61.57 ล้านลิตรต่อวัน หรือเพิ่มขึ้น ร้อยละ 2.30 (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) โดยราคาของน้ำมันดีเซลเดือนตุลาคม พ.ศ. 2558 มีราคาเฉลี่ย 22.99 บาท (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) แสดงถึงความต้องการน้ำมันดีเซลที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานใหม่นำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงแบบเก่า ได้มีการหันมาสนใจพลังงานทดแทนกันมากขึ้นโดยเฉพาะพลังงานทางเลือกชีวภาพ ในประเทศไทยสามารถผลิตพลังงานทางเลือกได้หลายชนิด เช่น ไบโอดีเซล เอทานอล แก๊สโซฮอล์ และดีโซฮอล์ ดีโซฮอล์เป็นน้ำมันที่มีการเริ่มขึ้นจากโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา เมื่อปี พ.ศ. 2541 โดยดีโซฮอล์ที่ผลิตขึ้นนี้เป็นการนำน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์มาผสมกับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ไบโอดีเซลเป็นสารเติมแต่ง และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีงานวิจัยพลังงานทางเลือกตัวใหม่ โดยการปรับปรุงคุณสมบัติของดีโซฮอล์ขึ้นใหม่ คือ ดีโซฮอล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) เป็นสารเติมแต่ง

งานวิจัยนี้จึงศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานและผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของน้ำมันดีเซล ดีโซฮอล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง (ดีโซฮอล์ (CNSL)) ในประเทศไทย ในทุกขั้นตอนของการผลิตจนกลายเป็น้ำมันเชื้อเพลิง โดยดำเนินการตามแนวทางการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life cycle assessment, LCA)

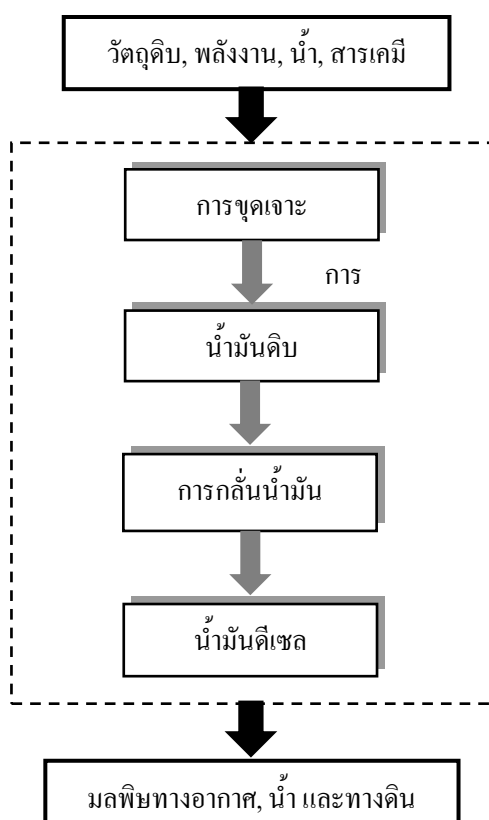
2. วัตถุประสงค์

ศึกษาและเปรียบเทียบสมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิและภาวะโลกร้อนระหว่างน้ำมันดีเซลกับดีโซฮอล์ที่ใช้ น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่งในประเทศไทย

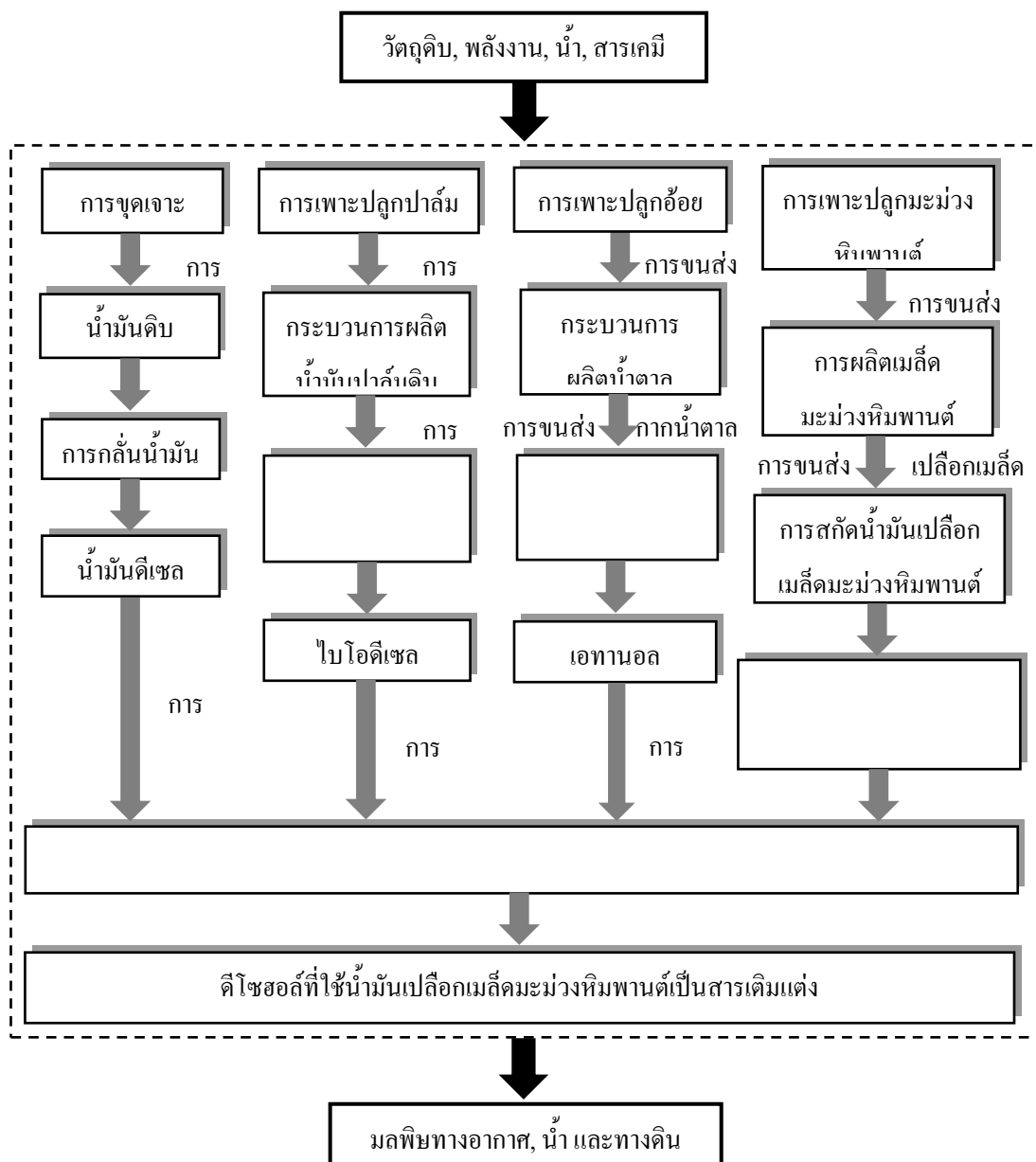
3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

งานวิจัยนี้ศึกษาน้ำมันเชื้อเพลิงปริมาณ 1 ลิตรเป็นหน่วยเปรียบเทียบสมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิและภาวะโลกร้อนระหว่างน้ำมันดีเซล ดีโซฮอล์ (CNSL) ในประเทศไทย น้ำมันดีเซลทำการศึกษาตั้งแต่การขุดเจาะน้ำมันดิบจนเป็นน้ำมันดีเซล ดีโซฮอล์ (CNSL) ทำการศึกษาตั้งแต่การขุดเจาะน้ำมันดิบจนเป็นน้ำมันดีเซล การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน อ้อย และมะม่วงหิมพานต์จนเป็นไบโอดีเซล เอทานอล และCNSL ตามลำดับ แล้วนำน้ำมันทั้ง 4 ชนิดที่อัตราส่วน น้ำมันดีเซล 80 มิลลิลิตร ต่อ เอทานอล 20 มิลลิลิตร ต่อ ไบโอดีเซล 12 มิลลิลิตร ต่อ CNSL 0.5 มิลลิลิตร มาผสมกันโดยเครื่องเขย่าสารจนกลายเป็นดีโซฮอล์ที่มีน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง แสดงดังภาพที่ 1-2 ดังนี้



รูปที่ 1 ขอบเขตกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซล



รูปที่ 2 ขอบเขตกระบวนการผลิตดีโซลต์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL) เป็นสารเติมแต่ง

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลบัญชีรายการ

ขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ ประกอบด้วย การเก็บข้อมูล การระบุชนิดและปริมาณการใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงาน และการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้มีการใช้ข้อมูลปฐมภูมิที่ได้จากการลงไปเก็บข้อมูลในพื้นที่จริง และข้อมูลทุติยภูมิซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มีการเก็บรวบรวมไว้แล้วจากหน่วยงานต่างๆ หรือข้อมูลจากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่อย่างเป็นทางการ เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด โดยข้อมูลบัญชีรายการในขั้นตอนการขูดเจาะและการกลั่นน้ำมันของน้ำมันดิเซลมีการใช้ข้อมูลร่วมกัน แหล่งข้อมูลบัญชีรายการของน้ำมันดิเซล และดีโซลต์ (CNSL) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แหล่งข้อมูลบัญชีรายการการผลิตน้ำมันดีเซล และดีโซฮอล์ (CNSL)

ขั้นตอน	ข้อมูล	แหล่งข้อมูล
1. น้ำมันดีเซล		
1.1 การขุดเจาะน้ำมันดิบ	ทุติยภูมิ	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
1.2 การกลั่นน้ำมัน	ทุติยภูมิ	สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
1.3 การขนส่ง	ปฐมภูมิ	กรมทางหลวง (2553)
2. เอทานอล		
2.1 การเพาะปลูกอ้อย	ทุติยภูมิ	โครงการการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้ถาดพลาสติกย่อยสลายทางชีวภาพสำหรับใส่อาหารโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ปี 2557
2.2 การผลิตน้ำตาล	ทุติยภูมิ	วรยุทธ สายบัวตรง (2551)
2.3 การผลิตเอทานอล	ทุติยภูมิ	วรยุทธ สายบัวตรง (2551)
2.4 การขนส่ง	ปฐมภูมิ	กรมทางหลวง (2553)
3. ไบโอดีเซล		
3.1 การเพาะปลูกปาล์ม	ทุติยภูมิ	Silalertruksa and Gheewala (2012)
3.2 การผลิตน้ำมันปาล์มดิบ	ทุติยภูมิ	Silalertruksa and Gheewala (2012)
3.3 การผลิตไบโอดีเซล	ทุติยภูมิ	Silalertruksa and Gheewala (2012)
3.4 การขนส่ง	ปฐมภูมิ	กรมทางหลวง (2553)
4. น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์		
4.1 การเพาะปลูกมะม่วงหิมพานต์	ปฐมภูมิ	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไเก้ด้อย อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดอุดรธานี
4.2 การผลิตเมล็ดมะม่วงหิมพานต์	ปฐมภูมิ	วิสาหกิจชุมชนกลุ่มส่งเสริมอาชีพบ้านหาดไเก้ด้อย อำเภอน้ำขุ่น จังหวัดอุดรธานี
4.3 การสกัดน้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (CNSL)	ทุติยภูมิ	ระรินธร สายแสงทอง (2557)
4.4 การขนส่ง	ปฐมภูมิ	กรมทางหลวง (2553)
5. การผลิตน้ำมันดีโซฮอล์ (CNSL)	ทุติยภูมิ	ระรินธร สายแสงทอง (2557)

3.4 สมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิ (Net Energy Gain, NEG)

เป็นค่าในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของเชื้อเพลิง โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบถึงพลังงานที่ใส่เข้าไปในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง (Input Energy) กับพลังงานที่อยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง (Output Energy) หน่วยเมกะจูลต่อลิตรน้ำมันเชื้อเพลิง แสดงดังสมการที่ (1)

$$\text{NEG} = \text{Output Energy} - \text{Input Energy} \quad (1)$$

3.5 ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน (Global Warming, $\text{GWP}_{\text{Impact}}$)

ภาวะโลกร้อนเป็นการวัดผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ที่มีต่อระบบสิ่งแวดล้อม ในแง่ของปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สร้างขึ้นจากกิจกรรมหรือกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ แสดงดังสมการที่ (2)

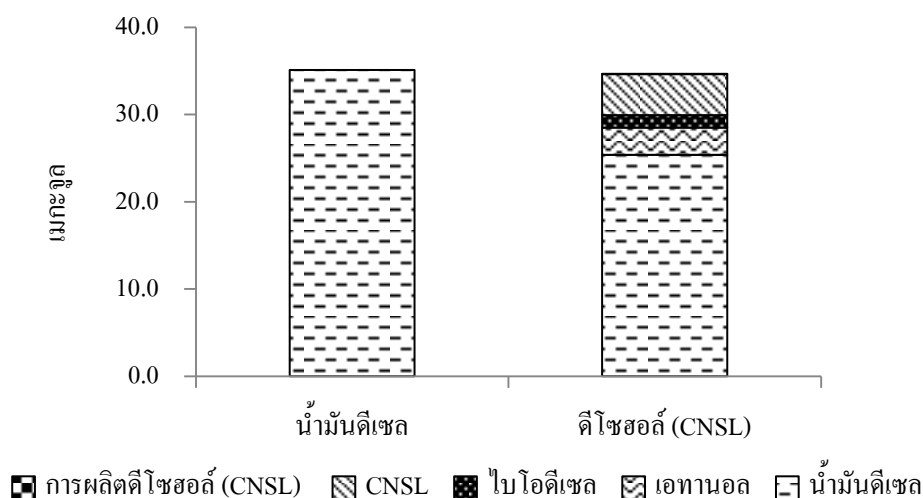
$$\text{GWP}_{\text{Impact}} = \sum [\text{GHG}_i \times \text{GWP}_i] \quad (2)$$

เมื่อ $\text{GWP}_{\text{Impact}}$ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (กิโกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) i คือ ก๊าซเรือนกระจก 6 ชนิด ที่ครอบคลุมโดยพิธีสารเกียวโต ได้แก่ CO_2 , CH_4 , NO_x , HFCs , PFCs และ SF_6 GHG_i คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกชนิด i ที่ปล่อยออกมา (กิโกรัมก๊าซเรือนกระจกชนิด i) GWP_i คือ ค่าศักยภาพการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกชนิด i (กิโกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อกิโกรัมก๊าซเรือนกระจกชนิด i ในระยะเวลา 100 ปี ได้แก่ CO_2 , CH_4 , NO_x , HFCs , PFCs และ SF_6 มีค่าเท่ากับ 1, 25, 298, 124 – 14,800, 7,390 – 12,200 และ 22,800 ตามลำดับ) (IPCC, 2007)

4 ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

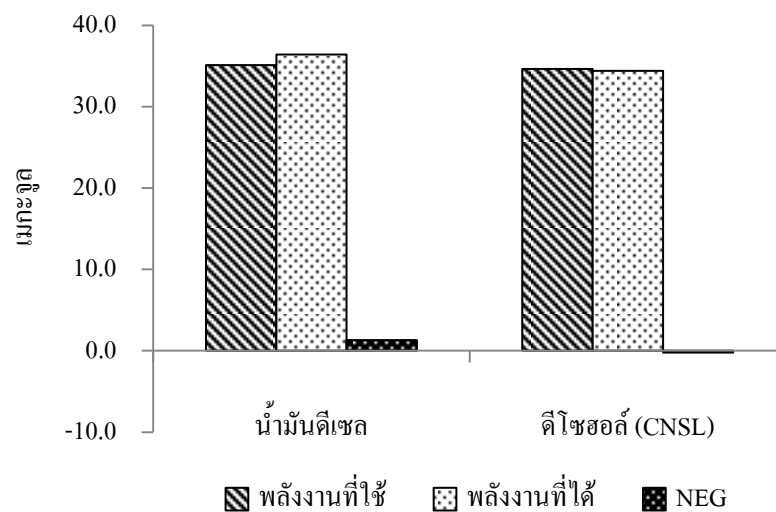
4.1 การประเมินสมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิ

จากการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด พบว่าน้ำมันดีเซลมีการใช้พลังงาน เท่ากับ 35.11 เมกะจูลต่อลิตร มากกว่าดีโซฮอล์ (CNSL) 0.47 เมกะจูลต่อลิตร ส่วนใหญ่มาจากพลังงานประเภทฟอสซิลที่ใช้ในการขุดเจาะและการกลั่นน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 100 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตน้ำมันดีเซล ส่วนดีโซฮอล์ (CNSL) มีการใช้พลังงานทั้งหมด เท่ากับ 34.64 เมกะจูลต่อลิตร มีการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 73.3 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) อยู่ในรูปพลังงานประเภทฟอสซิลที่ใช้ในการขุดเจาะและการกลั่นน้ำมัน รองลงมาได้แก่ CNSL คิดเป็นร้อยละ 13.6 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) อยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัด CNSL และเอทานอล คิดเป็นร้อยละ 8.9 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ไบโอดีเซลกับการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) มีการใช้พลังงานต่ำ คิดเป็นร้อยละ 4.1 และ 0.01 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) ทั้งหมด ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตน้ำมันดีเซลกับดีโซฮอลล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง 1 ลิตร

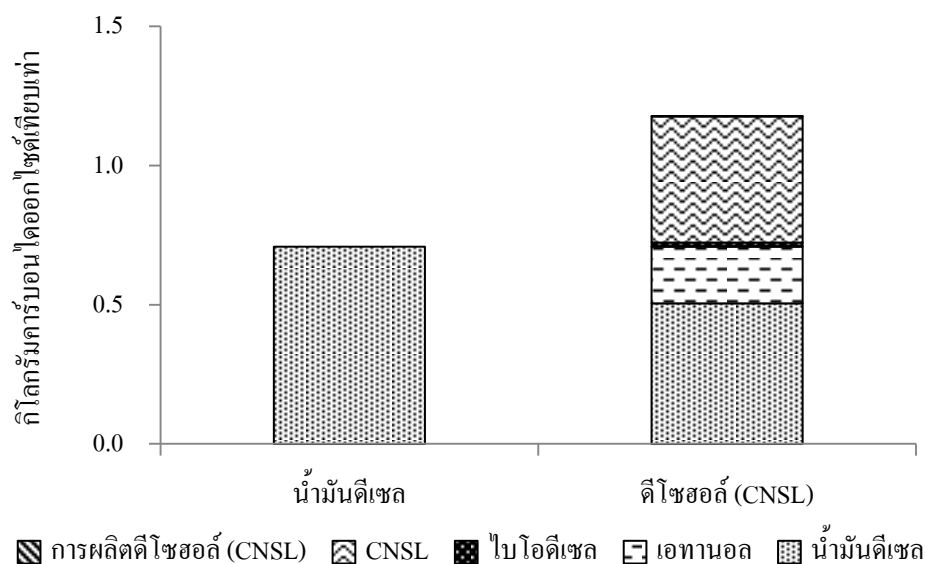
การเปรียบเทียบสมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด พบว่า ค่าพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตน้ำมันดีเซล เท่ากับ 35.11 เมกะจูลต่อลิตร ค่าพลังงานที่ได้ในที่นี้ใช้ค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value) เท่ากับ 36.42 เมกะจูลต่อลิตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2558) ส่วนดีโซฮอลล์ (CNSL) มีค่าพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิต เท่ากับ 34.64 เมกะจูลต่อลิตร ค่าพลังงานที่ได้เท่ากับ 34.41 เมกะจูลต่อลิตร (ระรินธร สายแสงทอง, 2557) เนื่องจากนำเอทานอล ไบโอดีเซล และ CNSL มาเป็นส่วนประกอบแทนน้ำมันดีเซล ส่งผลให้ค่าพลังงานที่ได้้น้อยกว่าน้ำมันดีเซล 2.01 เมกะจูลต่อลิตร สมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิพิจารณาจากผลต่างระหว่างพลังงานที่ใช้ในการผลิตกับพลังงานที่ได้ของน้ำมันน้ำมันเชื้อเพลิง ค่า NEG ของน้ำมันดีเซลเท่ากับ 1.31 เมกะจูลต่อลิตร ในขณะที่ดีโซฮอลล์ (CNSL) เท่ากับ -0.23 เมกะจูลต่อลิตร การเปรียบเทียบสมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิของน้ำมันดีเซลกับดีโซฮอลล์ (CNSL) แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบสมดุลพลังงานเพิ่มสุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตน้ำมันดีเซลกับดีโซฮอลล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง 1 ลิตร

4.2 การประเมินผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน

ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของการผลิตน้ำมันดีเซล และดีโซฮอลล์ (CNSL) ตลอดวัฏจักรชีวิต มีค่าเท่ากับ 0.71 และ 1.18 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของการผลิตน้ำมันดีเซล และดีโซฮอลล์ที่ใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารเติมแต่ง 1 ลิตร

จากการเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด พบว่าดีโซฮอล์ (CNSL) มีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากกว่าน้ำมันดีเซล 0.47 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากน้ำมันดีเซลคิดเป็นร้อยละ 42.9 ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) เนื่องจากใช้พลังงานประเภทฟอสซิลสูงในขั้นตอนการขุดเจาะและการกลั่นน้ำมัน รองลงมาได้แก่ CNSL คิดเป็นร้อยละ 38.5 ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) อยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสกัด CNSL และเอทานอล คิดเป็นร้อยละ 17.3 ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ไบโอดีเซลกับการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) มีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนต่ำ คิดเป็นร้อยละ 1.3 และ 0.05 ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนทั้งหมดในการผลิตดีโซฮอล์ (CNSL) ตามลำดับ ส่วนน้ำมันดีเซลมีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนอยู่ในรูปพลังงานประเภทฟอสซิลที่ใช้ในการขุดเจาะและการกลั่นน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 100 ของผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนทั้งหมดในการผลิตน้ำมันดีเซล

5. สรุปผลการวิจัย

การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปสมมูลพลังงานเพิ่มสุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด พบว่าน้ำมันดีเซลมีการใช้พลังงานมากที่สุด อยู่ในรูปพลังงานประเภทฟอสซิลที่ใช้ในขั้นตอนการขุดเจาะและการกลั่นน้ำมัน ส่วนดีโซฮอล์ (CNSL) มีการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลมากที่สุด รองลงมาได้แก่ CNSL และเอทานอล ตามลำดับ ค่า NEG ของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 1.31 เมกะจูลต่อลิตร มีค่าเป็นบวก แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงพลังงานที่ดี ในขณะที่ดีโซฮอล์ (CNSL) มีค่า NEG เท่ากับ -0.23 เมกะจูลต่อลิตร มีค่าเป็นลบ แสดงถึงการสูญเสียพลังงานสุทธิ

การประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิง 2 ชนิด พบว่าดีโซฮอล์ (CNSL) มีค่าผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด ผลกระทบส่วนใหญ่มาจากน้ำมันดีเซลเนื่องจากมีการใช้พลังงานประเภทฟอสซิลสูงในขั้นตอนการขุดเจาะและการกลั่นน้ำมัน รองลงมาได้แก่ CNSL และเอทานอล ตามลำดับ ส่วนน้ำมันดีเซล มีผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนส่วนใหญ่จากการใช้พลังงานประเภทฟอสซิลสูงในกระบวนการผลิตน้ำมันดีเซล

ในงานวิจัยนี้ดีโซฮอล์ (CNSL) ยังไม่ควรนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในตอนนี้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานต่ำ และผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมีค่ามากกว่าน้ำมันดีเซล ถ้าในอนาคตมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิต ให้มีความเหมาะสมและคุ้มค่ายิ่งขึ้น ดีโซฮอล์ (CNSL) อาจเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตได้

6. รายการอ้างอิง

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. 2553. **ระยะทางระหว่างอำเภอ**. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2558 จาก

<http://gisweb.doh.go.th/doh/download/index.php>.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. “ปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิง

(ค่าความร้อนสุทธิ).” รายงานคุณภาพพลังงานของประเทศไทย 2557. สืบค้นเมื่อ 5 มิถุนายน 2558

จาก http://www.dede.go.th/download/stat58/Energy%20Balance%20of%20Thailand%202014_1.pdf
ระรินธร สายแสงทอง. 2557. “การใช้น้ำมันเปลือกเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นสารลดแรงตึงผิวสำหรับดีโซซอล.”

วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรยุทธ สายบัวตรง. 2551. “การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของ
วัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2558. “ผลิตภัณฑ์น้ำมันสำเร็จรูป.” สถานการณ์การใช้
น้ำมันและไฟฟ้าของไทย ปี 2557. สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2558 จาก

http://www.eppo.go.th/info/Situation/monthly/2014_12.pdf

_____. 2558. “ราคาน้ำมันวันนี้.” สืบค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2558, จาก http://www.eppo.go.th/retail_prices.php

_____. 2558. “การใช้น้ำมัน.” สถานการณ์การใช้น้ำมันและไฟฟ้าของไทย ช่วง 3 เดือนแรกของปี 2558.

สืบค้นเมื่อ 27 ตุลาคม 2558, จาก http://www.eppo.go.th/info/Situation/monthly/2015_03.pdf

IPCC. 2007. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the
Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** United Kingdom
and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2007.

Silalertruksa, T. and S. H. Gheewala. 2012. Environmental sustainability assessment of palm biodiesel
production in Thailand. **Energy**. 43: 306-314.

**การศึกษาการหล่อรอยปลอกกระสุนปืนโดยใช้ซิลิโคน
เพื่อการประยุกต์ในงานนิติวิทยาศาสตร์
A STUDY OF GUN BULLET CASTING TRACE USING SILICONE
FOR APPLICATION IN FORENSIC SCIENCE**

รัตน์ จารุวัฒน์ชัย

นักศึกษาปริญญาโท สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : keng_gt@hotmail.com

สุทธิเดช ปรีชารัมย์

อาจารย์ประจำคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : faasstd@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาทางอาชญากรรมที่พบได้บ่อย เช่น การฆาตกรรม ปล้นทรัพย์ และข่มขืน อาชญากรรมเหล่านี้มีจำนวนไม่น้อยที่ใช้อาวุธปืนเป็นปัจจัยในการประกอบอาชญากรรมและทิ้งวัตถุพยานต่างๆ ไว้ในสถานที่เกิดเหตุ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเก็บร่องรอยของวัตถุพยาน โดยประยุกต์ใช้ยางซิลิโคนที่ได้คิดค้นขึ้นมาใช้ในอัตราส่วนที่เหมาะสมกับการใช้งานจริง สามารถนำมาแทนการใช้ Mikrosil ที่ใช้ในการเก็บวัตถุพยาน ในปัจจุบันซึ่งมีราคาแพง และผลจากการทดสอบพบว่า ยางซิลิโคนที่ได้ประยุกต์ขึ้นมามีผลที่เทียบเคียงกับ Mikrosil ซึ่งอาจจะเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการพิสูจน์หลักฐานจากปลอกกระสุนปืนในหน่วยงานที่ต้องใช้ในลำดับต่อไป

คำสำคัญ : วัตถุพยาน, ซิลิโคน

ABSTRACT

The most crimes that we always found are robbery crime, murder and sexual assault which had been used gun weapons and had left some evidences in the crime scenes. The purpose of this study is tracing of evidence by applying silicone which suitable for the real work of traces and instead of using Mikrosil that have an expensive cost. However, the results of applying silicone are comparable to Mikrosil. So, this study is one of the ways to prove the gun casting evidence for the agency requires.

KEYWORD : Tool mark, Siliclone

1. บทนำ

พยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์เป็นที่ยอมรับในกระบวนการยุติธรรมซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สามารถพิสูจน์ได้ว่าบุคคลใดเป็นผู้บริสุทธิ์บุคคลใดเป็นผู้กระทำความผิดบุคคลใดเป็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระทำผิดหรือไม่อย่างไรตลอดจนรูปแบบในการกระทำผิดครั้งนั้นเป็นแบบใดพยานหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์มีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับนำมาเป็นหลักฐานการพิจารณาคดีในชั้นศาลได้ปัญหาอาชญากรรมมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ (อารยา กิจบุญ, 2558) โดยส่วนมากมักใช้อาวุธปืนในการก่อเหตุ และทั้งปลอกกระสุนที่เคลื่อนกลาดในที่เกิดเหตุจำนวนมากมาย เพียงพอที่จะใช้สืบสวนหาคนร้ายได้ไม่ยาก ด้วยเทคโนโลยีด้านนิติวิทยาศาสตร์ ที่พัฒนาไปอย่างมากมาย การวิเคราะห์ปลอกกระสุน หัวกระสุนในที่เกิดเหตุ นำไปสู่การจับกุมฆาตกรหลายต่อหลายครั้ง และเป็นหลักฐานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่แน่นอน แมแต่คดีฆาตกรรมต่อเนื่องโดยการช่มยิงที่แทบไม่มีหลักฐานเหลืออยู่ หรือ ไม่มีแม่แต่แบบแผนในการลงมือ ตำรวจ และเจ้าหน้าที่ได้แกะรอยจากกระสุนและปลอกกระสุน ซึ่งนำไปสู่การจับกุมคนร้ายในเวลาต่อมาการนำวัตถุพยานตรวจสอบก็จะมาใช้หลักการทางนิติวิทยาศาสตร์ช่วยในการตรวจสอบเพื่อหาผู้กระทำความผิดที่แท้จริงมาลงโทษโดยอาชญากรรม (พรทิพย์ ไรจนสุนันท์, 2544) ดังนั้นการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ ที่เกี่ยวกับเอกลักษณ์เฉพาะของอาวุธปืนจึงเป็นงานที่มีความสำคัญมากอีกแขนงหนึ่งของงานนิติเวชศาสตร์และงานพิสูจน์หลักฐาน (เอก อังสานนท์, 2550) เพื่อที่จะนำไปสู่การสืบสวนสอบสวนหาตัวผู้กระทำความผิดที่แท้จริงอีกทั้งยังสามารถควบคุม และป้องกันอาชญากรรมที่จะเกิดขึ้นในสังคมต่อไปในปัจจุบันในการหาร่องรอยวัตถุพยานในปัจจุบันใช้ Mikrosil ซึ่งมีราคาแพงจึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการเก็บวัตถุพยาน

ยางซิลิโคน เป็นวัสดุที่มีลักษณะคล้ายยางสังเคราะห์ที่ใช้ในงานเฉพาะ ยางซิลิโคนทนทานต่อความร้อนได้สูงประมาณ 300 องศาเซลเซียส คุณสมบัติโดยทั่วไปมีความทนต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการกัดกร่อน คุณสมบัติเด่นๆของยางซิลิโคน คือ ยางซิลิโคนสามารถทนความร้อนได้ดี ทนไฟฟ้าในอุณหภูมิประมาณไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปจะมีลักษณะสีโปร่งแสง (ประจวบ ช่างคิด, 2556)

การศึกษานี้มีการใช้ยางซิลิโคนมาประยุกต์ในการเก็บร่องรอยวัตถุพยานเพื่อทำให้การเก็บหลักฐานการที่ติดกันยางซิลิโคนมาช่วยลดค่าใช้จ่ายสะดวกหาซื้อง่าย มีความสะดวกง่ายต่อการใช้งาน และใช้ในการตรวจสอบวัตถุพยาน ป้องกันวัตถุพยานเสียหาย หรือการถูกสลับสับเปลี่ยนได้ ป้องกันการสูญหาย และใช้เพื่อการส่งต่อวัตถุพยานเพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปตรวจสอบ

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาร่องรอยลักษณะพิเศษของปลอกกระสุนปืนที่จะทำให้สามารถบ่งบอกถึงเอกลักษณ์ของปืนแต่ละชนิดและยี่ห้อได้

2.2 เพื่อศึกษาว่าคุณภาพที่ได้จากการหล่อลายเส้นสามารถเปรียบเทียบกับ Mikrosil ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้หรือไม่

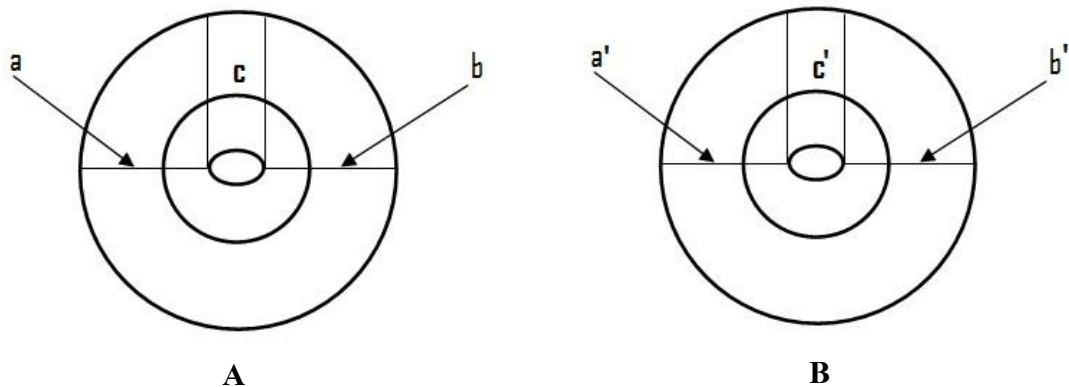
3. วิธีการดำเนินวิจัย

3.1 ออกแบบหาโพลิเมอร์ตัวใหม่ทดแทนการใช้ Mikrosil ซึ่งมีราคาแพงและมีหลายขั้นตอนในการเตรียม โดยการนำซิลิโคนในอัตราส่วน 10 มิลลิลิตร ต่อน้ำยาเร่งแข็ง (hardener) 1 มิลลิลิตร และผสมอะคริลิกสีน้ำตาล คนให้เข้ากันแล้วนำมาป้ายที่บริเวณท้ายปลอกกระสุนปืน ทิ้งไว้ 10 นาทีแล้วลอกออก

3.2 หาสมการในการหาระยะรอยของปลอกกระสุนทั้งสองมาเปรียบเทียบกับจากตัวที่ลอกออกมาจากซิลิโคนทั้งนี้เมื่อเข็มแทงจนวนสับไปที่กระสุนปืนจะไม่สับตรงกลางปลอกกระสุนปืนซึ่งอาจจะเอียงซ้าย – ขวา ไม่เท่ากันจึงใช้สมการโดยยึดจากเข็มแทงจนวนจากภาพถ่ายที่ได้โดยใช้สมการที่ 1 ดังภาพที่ 1

$$a + c + b = a' + c' + b'$$

..... (1)



ภาพที่ 1 ภาพจำลอง ของปลอกกระสุน เพื่อใช้หาระยะขอบจานท้ายปลอกกระสุนปืนฝั่งซ้าย-ขวา บนปลอกกระสุน A และ B

แทน a ด้วยระยะจากเข็มแทงจนวนไปจนถึงระยะขอบของจานท้ายปลอกกระสุนปืนฝั่งซ้ายของภาพ A

แทน b ด้วยระยะจากเข็มแทงจนวนไปจนถึงระยะขอบของจานท้ายปลอกกระสุนปืนฝั่งขวาของภาพ A

แทน c ด้วยระยะเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มแทงจนวนของภาพ A

แทน a' ด้วยระยะจากเข็มแทงจนวนไปจนถึงระยะขอบของจานท้ายปลอกกระสุนปืนฝั่งซ้ายของภาพ B

แทน b' ด้วยระยะจากเข็มแทงจนวนไปจนถึงระยะขอบของจานท้ายปลอกกระสุนปืนฝั่งขวาของภาพ B

แทน c' ด้วยระยะเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มแทงจนวนของภาพ B

ดังนั้นแทนค่า c และ c' จากรอยเข็มแทงจนวนจากจานท้ายปลายกระสุนปืนจากปืนกระบอกเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน ดังสมการที่ 2

$$a + b = a' + b'$$

..... (2)

สูตรที่ใช้ในการหาระยะจากเข็มแทงจนวนไปจนถึงระยะขอบของงานทำขลุ่ยปลอกกระสุนปืนฝักซ้าย-ขวา ดังสมการที่ 3

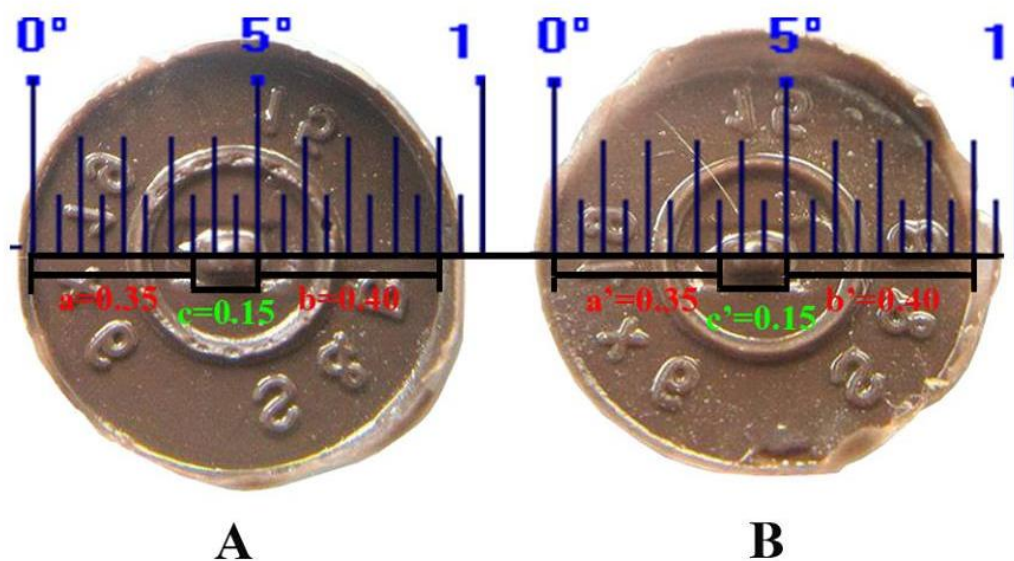
$$a + b = a' + b'$$

..... (3)

3.4 หาร่องลักษณะพิเศษของปลอกกระสุนปืน โดยใช้กล้อง microscope (Chase, 2003) ซึ่งมีกำลังขยายและความละเอียดสูง จะทำให้เห็นลักษณะพิเศษเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบของยางซิลิโคนที่ได้จากการลอกลา

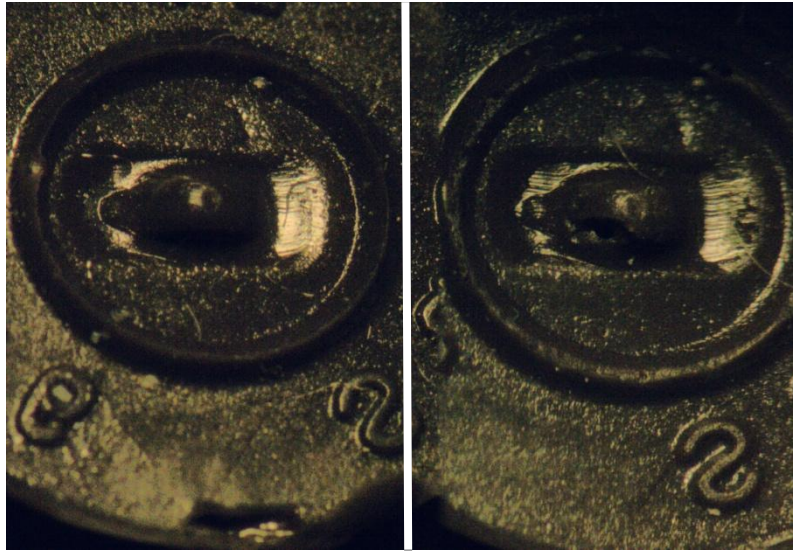
4. สรุปผลการวิจัย

หลักการของการวิเคราะห์กระสุนและปลอกกระสุนคือ ปืนแต่ละกระบอกจะให้ร่องรอยบนกระสุนและปลอกที่แตกต่างกัน โดยจะมีรอยเข็มแทงจนวนเกิดขึ้นบนปลายปลอกกระสุนปืน ดังนั้นเมื่อใช้เครื่องมือขยายออกมาจะได้ร่องรอยลักษณะพิเศษที่บ่งบอกเอกลักษณ์เฉพาะของปืนแต่ละกระบอก จากผลการทดลองโดยใช้ยางซิลิโคนในการลอกลายพบว่าสามารถเก็บรายละเอียดต่างๆ ได้ชัดเจน และเมื่อนำมาวัดโดยใช้สมการที่ปรากฏว่ากระสุนปืน A กับ กระสุน ปืน นัค B ยังมาจากปืนกระบอกเดียวกันดังภาพที่ 2

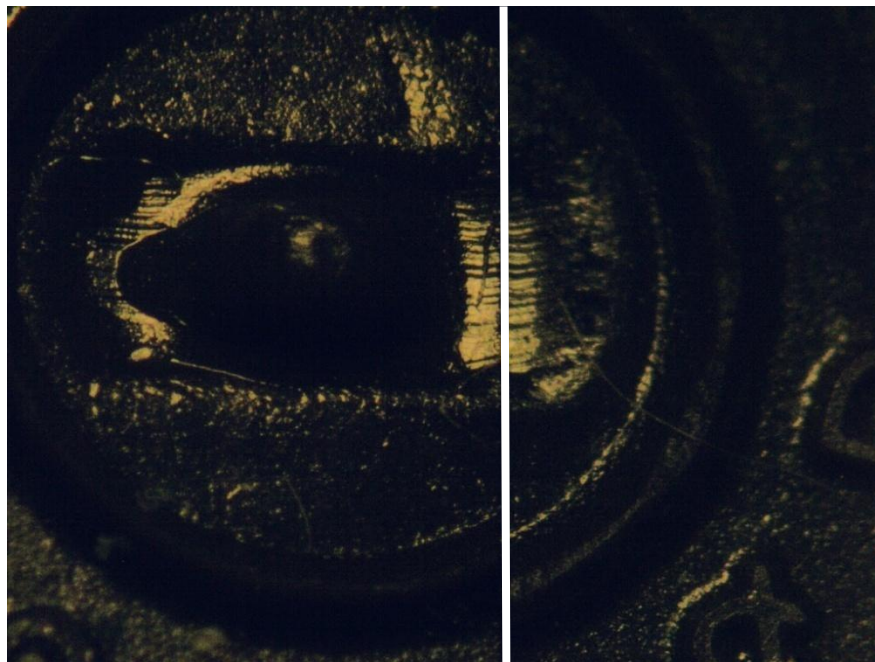


ภาพที่ 2 การหาระยะขอบของงานทำขลุ่ยปลอกกระสุนปืนฝักซ้าย-ขวา ของปลอกกระสุน A และ B

ทั้งนี้เมื่อนำซิลิโคนที่ได้จากการลอกลายไปวิเคราะห์ด้วยกล้อง Comparison microscope กำลังขยายความละเอียดสูงก็พบว่า ปลอกกระสุนปืนทั้งสองมีร่องรอยเอกลักษณ์ที่ตรงกัน ดังภาพที่ 3 และ 4

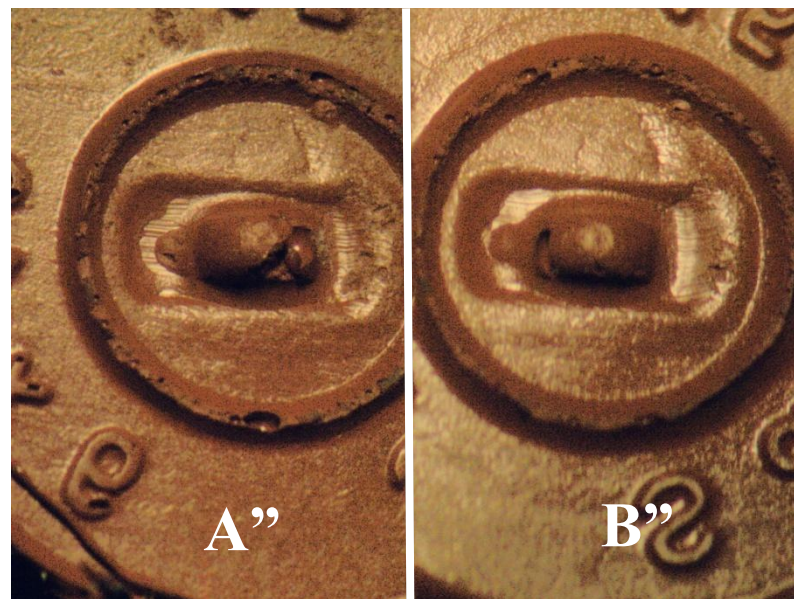


ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบร่องรอยของกระสุนบนงานทำจากการหล่อโดยใช้ซิลิโคนด้วยกล้อง
Comparison microscope ด้วยกำลังขยายที่ 6 x 1.75

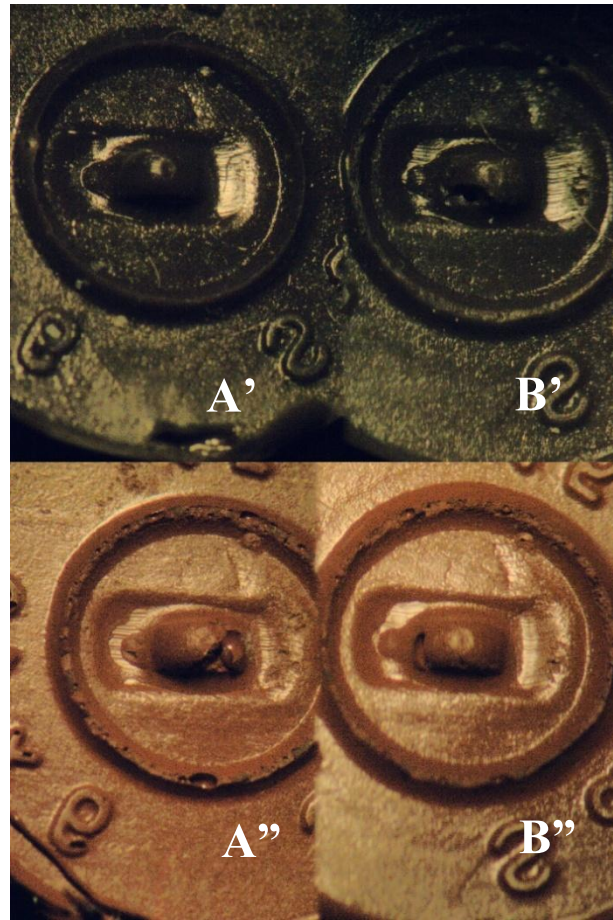


ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบร่องรอยของกระสุนทั้งสองปลอกบนงานทำจากการหล่อโดยใช้ซิลิโคนด้วยกล้อง
Comparison microscope ด้วยกำลังขยายที่ 6 x 3

ผลจากการใช้ Mikrosil แล้วนำมาลอกลายพบว่าได้ผลการทดลองดังภาพที่ 5 เมื่อนำไปส่องด้วยกล้อง Comparison microscope (Bachrach, 2002) กำลังขยายความละเอียดสูงก็พบว่ามีความชัดเจนสามารถบอกถึงร่องรอยเอกลักษณ์ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับมุมมองของแสง และเมื่อนำไปถ่ายด้วยกล้องธรรมดา ก็พบว่าสามารถให้ละเอียดสูงสามารถนำไปตรวจสอบได้เช่นกัน และเมื่อนำภาพทั้งสองมาเทียบกัน ดังภาพที่ 6 และ 7 สรุปได้ว่าภาพที่หล่อจากยางซิลิโคนสามารถใช้เทียบเคียงกับภาพที่หล่อจาก Mikrosil ได้



ภาพที่ 5 ภาพ Mikrosilจากการลอกลายกระสุนปืน A''และ B''แสดงจากการลอกลายโดยใช้ Mikrosil ของกระสุนปืน 2 นัด



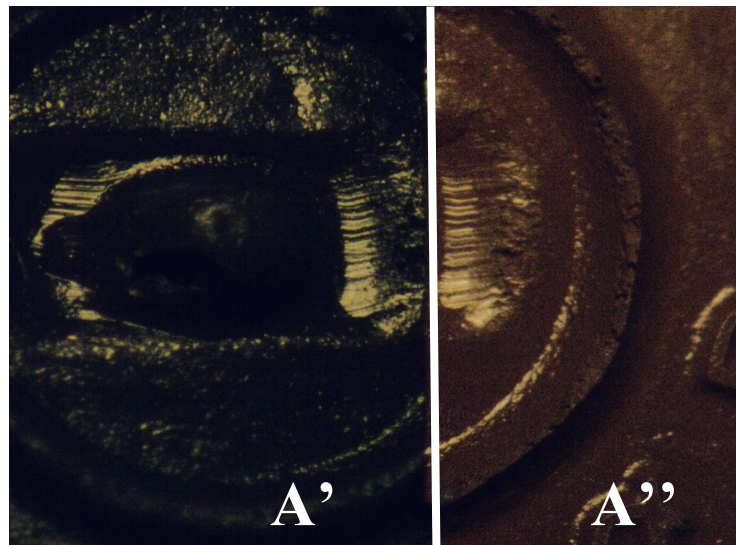
ภาพที่ 6 ภาพเปรียบเทียบ ระหว่างยางซิลิโคนกับ Microsil กระสุน A และ B ที่กำลังขยาย 6x1.75

A' แสดงจากการลอกถ่ายโดยใช้ ซิลิโคนของกระสุนปืน A

B' แสดงจากการลอกถ่ายโดยใช้ซิลิโคนของกระสุนปืน B

A'' แสดงจากการลอกถ่ายโดยใช้ Mikrosil ของกระสุนปืน A

B'' แสดงจากการลอกถ่ายโดยใช้ Mikrosil ของกระสุนปืน B



ภาพที่ 7 ภาพเปรียบเทียบ ระหว่างยางซิลิโคนกับMicrosilของกระสุน A ที่กำลังขยาย 6x3

A' แสดงจากการลอกลายโดยใช้ ซิลิโคนของกระสุนปืน A

A'' แสดงจากการลอกลายโดยใช้Mikrosilของกระสุนปืน A

5. อภิปรายผล

การที่ได้ทำการทดลองจึงสามารถพิสูจน์ได้ว่าสมการสามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ของปลอกกระสุนปืนในเบื้องต้นได้ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงระยะห่างของเข็มแทงชนวนจากบริเวณปลอกกระสุนปืนของปืนแต่ละกระบอก และเมื่อนำยางซิลิโคนที่ได้จากการลอกลายไปส่องด้วยกล้อง microscope ก็ทำให้สามารถเห็นร่องรอยลายเส้นลักษณะพิเศษ ที่ปรากฏบนจานท้ายปลอกกระสุนได้ชัดเจนเทียบเคียงกับ Mikrosil จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพิสูจน์หลักฐานจาก จานท้ายปลอกกระสุนปืนได้

6. ข้อเสนอแนะ

- 6.1 หาวัสดุที่ใช้ในการลอกลายเพิ่มเติมที่สามารถให้ผลได้เทียบเคียงกัน
- 6.2 ควรเพิ่มการหาต่อรอยของปลอกกระสุนปืนชนิดอื่น
- 6.3 เพิ่มการหาต่อรอยวัตถุพยานชนิดอื่น
- 6.4 การทำเก็บข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลไว้ใช้สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

7. รายการอ้างอิง

- ประจวบ ช่างคิด. 2556. การทำแบบพิมพ์ยางซิลิโคน. ลำปาง: กรมวิทยาศาสตร์บริการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- พรทิพย์ โรจนสุนันท์. 2546. นิติเวชศาสตร์การนำความรู้มาพิสูจน์ความจริงเพื่อประกอบการพิจารณา ลงโทษผู้กระทำความผิด. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์วิญญูชนจำกัด.
- อารยา กิจบุญ. 2558. หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์กับการอำนวยความสะดวกในสังคม. กรุงเทพฯ: สถาบันนิติวิทยาศาสตร์ กระทรวงยุติธรรม.
- เอก อังสานนท์. 2550. การสืบสวนและสอบสวน. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- Bachrach, B. 2002. Development of a 3D-based automated firearms evidence comparison system. **Journal of Forensic Sciences Press**. 47: 1253–1264.

การศึกษาเบื้องต้นค่าระดับค่าการนำไฟฟ้า และองค์ประกอบน้ำนมจากน้ำนมปกติกับ
น้ำนมโคที่มีผลบวกจากการทดสอบซีเอ็มที

PRELIMINARY STUDY ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY
AND COMPOSITIONS OF NORMAL MILK AND MILK WITH
POSITIVE TEST FOR CMT

อจรรย์รัตน์ สุวรรณภักดี

อาจารย์สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน

มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

E-mail: adcharatt@gmail.com

สุรศักดิ์ คชภักดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาสัตวศาสตร์ คณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน

E-mail: ksurasak@tsu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ ระดับค่าการนำไฟฟ้าและองค์ประกอบของน้ำนมจากโคปกติ และน้ำนมที่ไม่สามารถส่งน้ำนมขายได้เนื่องจากผลการทดสอบมีผลบวกจากการทดสอบซีเอ็มที โดยเก็บตัวอย่างน้ำนมโค ฟาร์มมหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดพัทลุง จำนวน 3 สัปดาห์ติดต่อกัน ทดสอบสภาวะการเกิดเต้านมอักเสบของโคนมด้วยน้ำยา CMT (California mastitis test; CMT) พบว่ามีค่าน้ำนมโคปกติจำนวน 59 ตัวอย่าง โคที่มีน้ำนมผลบวกระดับ 2 จำนวน 16 ตัวอย่าง และ ผลบวกระดับ 3 จำนวน 29 ตัวอย่าง ผลการศึกษาระดับค่าการนำไฟฟ้าในน้ำนมปกติพบว่ามีค่าการนำไฟฟ้าต่ำสุด (5.63 ms/ชม) น้ำนมที่มีผลบวกระดับ 2 (6.25 ms/ชม) น้ำนมที่มีผลบวกระดับ 3 (6.78 ms/ชม) การศึกษาค่าองค์ประกอบของน้ำนม พบว่า เเปอร์เซ็นต์ไขมัน แลคโตส และของแข็งทั้งหมด ในน้ำนมปกติ มีค่ามากกว่าในน้ำนมที่มีผลบวกระดับ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (4.32 และ 3.20; 4.56 และ 4.12; 12.79 และ 11.26 % $P<0.05$) การศึกษาสหสัมพันธ์ของค่าการนำไฟฟ้าในน้ำนมกับองค์ประกอบน้ำนมพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสหสัมพันธ์เชิงลบอยู่ในระดับต่ำ กับองค์ประกอบ เเปอร์เซ็นต์ไขมัน (-0.26) แลคโตส (-0.38) ของแข็งรวมไขมัน (-0.27) และของแข็งทั้งหมด (-0.36) ($P<0.05$) และเปอร์เซ็นต์โปรตีนมีค่าสหสัมพันธ์เชิงลบ $P=0.09$ จากผลการศึกษาเบื้องต้นในครั้งนี้พบว่าค่าการนำไฟฟ้าสามารถพัฒนาใช้ในระดับฟาร์มร่วมกับการตรวจสอบผลด้วยน้ำยา CMT ได้ เพื่อให้การจำแนกสภาวะเต้านมอักเสบมีความชัดเจน และสามารถตรวจสอบเพื่อการรักษาอาการในระดับฟาร์มได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ค่าการนำไฟฟ้า องค์ประกอบน้ำนม โคนม

ABSTRACT

The objectives of this study were to compare level of electric conductivity (EC) and milk compositions between normal milk and milk with positive test for California Mastitis Test (CMT). Milk samples were collected once a week for three consecutive weeks which 59, 16 and 29 samples were collected from normal cows, cows with CMT positive 2 and cows with CMT positive 3, respectively. Level of EC also showed similar pattern. EC for normal milk was lowest (5.63 ms/cm), followed by milk with CMT positive 2 (6.25 ms/cm) and milk with CMT positive 3 (6.78 ms/cm). Fat, lactose and total solid composition in normal milk were significantly greater than those in milk with CMT positive (4.32 and 3.20 %; 4.56 and 4.12%; 12.79 and 11.26 %, $P < 0.05$). Moreover, significantly negative correlations were found between EC and fat, lactose, solid not fat and total solid content.

KEYWORDS: electro-conductivity, milk composition, dairy cow

1. บทนำ

โรคเต้านมอักเสบ (mastitis) เป็นโรคที่เกิดจากการอักเสบของเนื้อเยื่อเต้านม ทำให้เต้านมและน้ำนมเปลี่ยนแปลงผิดไปจากปกติ สาเหตุที่ทำให้เกิดโรคเต้านมอักเสบมีหลายประการ ตั้งแต่สุขาภิบาลในฟาร์ม สภาพโรงเรือน สภาพแวดล้อมขณะรีดนม สุขศาสตร์การรีดนม และเทคนิคการรีดนม รวมทั้งมีสาเหตุโน้มนำอย่างอื่น ได้แก่ ภูมิอากาศ ฤดูกาล พันธุกรรม อายุ ช่วงระยะเวลาการให้นม ปริมาณน้ำนม ความต้านทานโรคของเต้านม (ธีรพงศ์, 2542) ปัญหาโรคเต้านมอักเสบเป็นปัญหาหนึ่งที่เกิดมาควบคู่กับการเลี้ยงโคนม เนื่องจากการรีดนมทุกวัน และลักษณะสรีระวิทยาของเต้านมทำให้เต้านมติดเชื้อได้ง่าย เมื่อเต้านมเป็นโรคเต้านมอักเสบจะกระทบต่อการผลิตน้ำนมโดยตรง เพราะเต้านมไม่สามารถให้ผลผลิตได้ตามศักยภาพ ผลกระทบจะมีมากขึ้นอยู่กับความรุนแรงของโรค ถ้ามีความรุนแรงมากหรือเป็นโรคเต้านมชนิดแสดงอาการผลผลิตจะลดลงเป็นอย่างมาก ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษา และอาจต้องสูญเสียแม่โคไป แต่ถ้าเป็นโคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบชนิดไม่แสดงอาการ จะทำให้ผลผลิตน้ำนมและคุณภาพน้ำนมลดลง (จุฑพร และคณะ, 2557) ฟาร์มโคนมของมหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ซึ่งมีผลผลิตน้ำนมวันละ 300 กิโลกรัม มีปัญหาโรคเต้านมอักเสบเช่นกัน โดยแต่ละวัน มีน้ำนมไม่สามารถจำหน่ายได้ประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ของผลผลิตน้ำนมทั้งหมด เนื่องจากเป็นน้ำนมที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ ซึ่งมีสาเหตุสำคัญจากปัญหาโรคเต้านมอักเสบชนิดไม่แสดงอาการ

ค่าการนำไฟฟ้าในน้ำนม เกิดจากสารละลายน้ำนมที่มีประจุต่าง ๆ อยู่มากโดยเฉพาะประจุคลอไรด์ 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประจุเหล่านี้จะเป็นตัวนำไฟฟ้า ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำนมปกติ มีค่าเท่ากับ 0.005 mho หากค่าสูงกว่า 0.006 mho แสดงว่า น้ำนมมาจากโคที่เป็นโรคเต้านมอักเสบ เมื่อมีการอักเสบของเต้านมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของน้ำนม ปริมาณน้ำตาลแล็กโทสจากน้ำนมจะไหลกลับเข้าสู่กระแสโลหิตและเกลือแร่จากกระแสโลหิตจะไหลออกมาสู่น้ำนม เป็นผลให้น้ำมนำกระแสไฟฟ้าได้ดีขึ้น จากหลักการนี้ สามารถตรวจหาเต้านมอักเสบได้โดยใช้เครื่องมือตรวจสอบหาความสามารถนำกระแสไฟฟ้าของน้ำนมทั้ง 4 เต้า ถ้าพบ เต้าใดมีความสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่าเต้าอื่นๆ แสดงว่า เต้านั้นเกิดการอักเสบขึ้น (Fosgate *et al.*, 2012)

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ต้องการทดสอบผลของการตรวจนํ้านมด้วยนํ้ายาซีเอ็มที ค่าการนำไฟฟ้า และองค์ประกอบนํ้านม เพื่อป้องกันการใช้ตรวจสอบปัญหาโรคเต้านมอักเสบในฟาร์มโคนม เพื่อหาแนวทางในการจำแนกโคที่มีการอักเสบแบบไม่แสดงอาการโดยใช้การจำแนกจากค่าการนำไฟฟ้า เพื่อป้องกันและแก้ปัญหาเต้านมอักเสบโดยการกำหนดวิธีการจัดการที่เหมาะสมในฟาร์มได้

2.วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบระดับการนำไฟฟ้าของนํ้านมจากโคปกติ กับนํ้านมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 2 และระดับ 3
 2. เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบนํ้านมจากโคนมปกติกับนํ้านมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ที่ระดับ 2 และระดับ 3
 3. เพื่อหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้าในนํ้านมกับองค์ประกอบนํ้านม
- สมมุติฐานการวิจัย นํ้านมปกติและนํ้านมที่มีการอักเสบเมื่อทดสอบให้ผลบวกผลด้วยนํ้ายา CMT +2 และ +3 จะวัดค่าการนำไฟฟ้าในแต่ละกลุ่มได้แตกต่างกัน

3. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

การตรวจวิเคราะห์นํ้านมด้วยวิธีการ CMT เป็นมาตรการที่ใช้กันโดยทั่วไปในฟาร์มโคนมเป็นวิธีการที่ต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นการใช้วิธีการตรวจค่าการนำไฟฟ้าในนํ้านมซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถตรวจวัดได้โดยเครื่องมืออ่านค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าการนำไฟฟ้าในนํ้านมปกติ และหากมีความแตกต่างระหว่างนํ้านมปกติ และนํ้านมที่ให้ผลบวก CMT +2 และ CMT +3 ในการปฏิบัติงานฟาร์ม อาจสามารถพัฒนาวิธีการตรวจวิเคราะห์นี้มาใช้เป็นมาตรการแก้ปัญหาโรคเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการในฟาร์มโคนมช่วยลดการเกิดเต้านมอักเสบแบบแสดงอาการ หาแนวทางการแก้ปัญหาโรคเต้านมอักเสบในฟาร์มอย่างได้ผล

4.วิธีดำเนินการวิจัย

เก็บตัวอย่างนํ้านมสัปดาห์ละครั้ง ติดต่อกัน 3 สัปดาห์ ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) โดยมีตัวแปรอิสระ (in dependent variable) คือ ผลการทดสอบ CMT (นํ้านมโคปกติ นํ้านมโคที่แสดงผลบวก การทดสอบซีเอ็มทีระดับ 2 และจากนํ้านมที่แสดงผลบวกระดับ 3) ตัวแปรตามประกอบด้วยค่าการนำไฟฟ้าในนํ้านม และองค์ประกอบของนํ้านม

การวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า นำตัวอย่างนํ้านมจากขวดพลาสติกที่เก็บมาวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้า นำนํ้านมที่เก็บมาหลังจากการรีด (ตัวอย่างนํ้านมมาอุ่นก่อนทำการทดลองที่อุณหภูมิ 37.0 องศาเซลเซียส) การวิเคราะห์ทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าอัตโนมัติ Eutech รุ่น CyberScan CON 1500

การวิเคราะห์องค์ประกอบของนํ้านม ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบนํ้านม ซึ่งประกอบด้วยไขมัน โปรตีน ของแข็งไม่รวมไขมัน ของแข็งทั้งหมด โดยใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบนํ้านม Milko Scan FT 6000

การวิเคราะห์ทางสถิติ วิเคราะห์ความแปรปรวน analysis of varian เปรียบเทียบความแตกต่างโดยDuncan Multiple Range Test หาความสัมพันธ์ระหว่างระดับเซลล์โซมาติกและค่าการนำไฟฟ้ากับองค์ประกอบน้ำมัน (Steel and Terrie, 1980)

5.ผลการทดลอง

5.1 ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมันโคที่ระดับต่าง ๆ ของการทดสอบด้วยน้ำยา CMT

การทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ยของน้ำมันปกติ น้ำมันที่มีผลบวกCMTที่ระดับ 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 5.63, 6.25 และ 6.78 ms/cm ตามลำดับ ผลของระดับผลบวกของการทดสอบCMT ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าพบว่าระดับผลบวกซีเอ็มที มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ตารางที่ 1 ผลของการทดสอบ CMT ในระดับต่างๆต่อการเปลี่ยนค่าการนำไฟฟ้า

ระดับผลบวก CMT	ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)		
	ค่าเฉลี่ย± ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ช่วงของค่าเฉลี่ยที่มีความเชื่อมั่น 95% ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
น้ำมันปกติ	5.63±0.50 ^a	5.51	5.76
ผลบวกระดับ2	6.25±0.46 ^b	6.01	6.49
ผลบวกระดับ3	6.78±1.08 ^c	6.35	7.2

หมายเหตุ: ^{a, b, c} อักษรในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$)

ผลการทดลองในครั้งนี้ สามารถแบ่งกลุ่มค่าการนำไฟฟ้าได้เป็น 3 กลุ่มตามผลของน้ำยา CMT สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ilie et., al. (2010) การวินิจฉัยโรคเอดส์แบบไม่แสดงอาการ เมื่อมีการแบ่งกลุ่มของโคเนมออกเป็น 3 กลุ่ม คือ โคเนมที่มีสุขภาพดี โคเนมที่เป็นโรคเอดส์แบบไม่แสดงอาการ และโคเนมที่เป็นโรคเอดส์แบบแสดงอาการ พบว่าค่าเฉลี่ยของการนำไฟฟ้าในน้ำมันมีความแตกต่างกันทั้ง 3 กลุ่มที่ $p<0.01$ โดยค่าการนำไฟฟ้าของโคที่มีสุขภาพดี มีค่า 4.53 ± 0.01 mohs โคที่มีการอักเสบแบบไม่แสดงอาการมีค่า 5.42 ± 0.02 mohs และโคที่มีการอักเสบแบบแสดงอาการมีค่า 6.31 ± 1.53 mohs ดังนั้นการใช้ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อประเมินโรคเอดส์แบบไม่แสดงอาการจึงสามารถตรวจวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับฟาร์ม ค่าการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้นสามารถบ่งชี้สภาวะการติดเชื้อเอดส์แบบไม่แสดงอาการ

5.2 ผลของระดับผลบวกของการทดสอบ CMTต่อส่วนประกอบของน้ำมัน

องค์ประกอบของน้ำมันที่ระดับผลบวกการทดสอบCMT ต่าง ๆ พบว่า น้ำมันที่มีผลบวกการทดสอบCMT ระดับ 3 มีเปอร์เซ็นต์ไขมัน แล็กโทส และของแข็งทั้งหมดต่ำกว่าน้ำมันปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนน้ำมันที่มีผลบวกของการทดสอบCMT ที่ระดับ 2 ส่วนใหญ่ มีองค์ประกอบไม่แตกต่างกับน้ำมันปกติ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ไขมันและโปรตีน โดยเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำมันที่มีผลบวกการทดสอบCMT ระดับ 2 มีค่า 3.42 ซึ่งต่ำกว่าของน้ำมันปกติ (4.32 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนโปรตีนพบว่า เปอร์เซ็นต์โปรตีนใน

น้ำมันที่มีระดับผลบวกการทดสอบ CMT ระดับ 2 มีค่ามากกว่าในน้ำมันปกติ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (6.62 และ 3.14 เปอร์เซ็นต์, $P < 0.05$) ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลของระดับของการทดสอบ CMT ต่อค่าส่วนประกอบน้ำมัน

ระดับผลบวก CMT	องค์ประกอบน้ำมัน (%)				
	ไขมัน	โปรตีน	แลคโทส	ของแข็งไม่รวมไขมัน	ของแข็งทั้งหมด
น้ำมันปกติ	4.32±0.94 ^a	3.14±0.38 ^a	4.56±0.24 ^a	8.41±0.43 ^{ab}	12.74±1.17 ^a
น้ำมันผลบวก 2	3.42±1.37 ^b	3.62±0.51 ^b	4.32±0.29 ^{ab}	8.64±0.51 ^a	12.06±1.72 ^{ab}
น้ำมันผลบวก 3	3.20±1.11 ^b	3.23±0.37 ^a	4.12±0.63 ^b	8.05±0.73 ^b	11.26±1.47 ^b

หมายเหตุ:^{a,b,c} อักษรในคอลัมน์เดียวกันที่แตกต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

Philopot (1991) รายงานว่า ผลของเฝ้าตามอกเสบที่ไม่แสดงอาการทำให้ของแข็งทั้งหมดลดลง (3-12 เปอร์เซ็นต์) ไขมันลดลง (5-12 เปอร์เซ็นต์) ของแข็งที่ไม่รวมไขมันลดลงไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลแลคโทสลดลง (5-20 เปอร์เซ็นต์) และโปรตีนลดลงเล็กน้อย ซึ่งในการศึกษานี้ น้ำมันที่มีผลบวกการทดสอบ CMT ระดับ 2 และ 3 ทำให้ของแข็งทั้งหมดลดลง (3-12 เปอร์เซ็นต์) ไขมันลดลง (5-12 เปอร์เซ็นต์) ของแข็งที่ไม่รวมไขมันลดลง (2.7 เปอร์เซ็นต์) (เฉพาะที่มีผลบวก 3) น้ำตาลแลคโทสลดลง (5-20 เปอร์เซ็นต์) ส่วนโปรตีนเพิ่มขึ้น

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (2547) ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนมสดไว้ โดยแบ่งคุณภาพนมสดออกเป็นชั้นดีมาก (premium) ชั้นดี (good) และชั้นมาตรฐาน (standard) ซึ่งพบว่าน้ำมันปกติในการศึกษานี้มีคุณภาพอยู่ในชั้นดีมาก กล่าวคือ ในชั้นคุณภาพดีมาก มีไขมันมากกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ และมีของแข็งทั้งหมดมากกว่า 12.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการศึกษานี้ น้ำมันปกติมีไขมัน 4.32 เปอร์เซ็นต์ และของแข็งทั้งหมด 12.74 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำมันที่มีผลบวกของการทดสอบ CMT ที่ระดับ 2 และ 3 มีค่าไขมันที่ได้มาตรฐาน รายงานของของชุมพล และคณะ (2552) ศึกษาถึงคุณภาพน้ำมันของฟาร์มโคนมในจังหวัดชัยภูมิ ตามรายงานพบว่า ในรายงานมีค่าไขมัน 3.6 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 3.07 เปอร์เซ็นต์ และของแข็งทั้งหมด 12.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าค่าในการศึกษานี้มีค่าไขมัน โปรตีน และของแข็งทั้งหมดมีค่าสูงกว่า แสดงให้เห็นว่าคุณภาพในน้ำมันของฟาร์มโคนมมหาวิทยาลัยทักษิณอยู่ในชั้นดี

5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าองค์ประกอบน้ำมัน

ความสัมพันธ์ระหว่างการนำไฟฟ้ากับองค์ประกอบน้ำมัน ไขมัน แลคโทสของแข็งไม่รวมไขมัน และของแข็งทั้งหมดอยู่ในระดับต่ำ และเป็นค่าสหสัมพันธ์เชิงลบ (ตารางที่ 3) การเปลี่ยนแปลง ของค่าตัวแปรค่าการนำไฟฟ้าเป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน

Semacan, *et. al.* (1999) ศึกษาการทดสอบโรคเฝ้าตามอกเสบบนไม่แสดงอาการในโคนมโดยใช้ค่าการนำไฟฟ้า เปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ การใช้ค่า EC เพื่อประเมินสภาวะเฝ้าตามอกเสบเมื่อมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการประเมินโรคเฝ้าตามอกเสบวิธีอื่น ๆ โดยใช้ค่าสหสัมพันธ์พบว่า ค่าการนำไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าแร่ธาตุสูงสุดโดยมีค่าสหสัมพันธ์ที่ 0.911 ($p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์กับค่า CMT ในช่วง

0.348 ($p < 0.01$) การศึกษาครั้งต่อไปจึงอาจต้องเพิ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา เพิ่มเติม และค่าสหสัมพันธ์ที่มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางอาจต้องมีการศึกษาค่าอื่นเพื่ออธิบายประกอบด้วย

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า และค่าองค์ประกอบน้ำมัน

		ค่าการนำไฟฟ้า	ไขมัน	โปรตีน	แล็กโทส	ของแข็งไม่รวมไขมัน	ของแข็งทั้งหมด
ค่าการนำไฟฟ้า	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	1.00	-0.26	-0.01	-0.38	-0.27	-0.32
ไขมัน	p-value	-	0.00	0.90	0.00	0.05	0.01
โปรตีน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์		1.00	0.46	0.07	0.30	0.91
แล็กโทส	p-value		-	0.00	0.46	0.00	0.00
ของแข็งไม่รวมไขมัน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์			1.00	-0.08	0.17	0.66
ของแข็งทั้งหมด	p-value			-	0.40	0.00	0.00
ไขมัน	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์				1.00	0.63	0.20
โปรตีน	p-value				-	0.00	0.03
แล็กโทส	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์					1.00	0.65
ของแข็งไม่รวมไขมัน	p-value					-	0.00
ของแข็งทั้งหมด	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์						1.00
ไขมัน	p-value						-

6. สรุปผลการวิจัย

1. ผลการเปรียบเทียบระดับการนำไฟฟ้าของน้ำมันจากโคปกติกับน้ำมันจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบCMT ระดับ 2 และ 3 พบว่า น้ำมันจากโคปกติมีค่าการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 5.63 ms/cm ซึ่งต่ำกว่าระดับการนำไฟฟ้าในน้ำมันที่มีผลบวกCMT ระดับ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยที่น้ำมันที่มีผลบวกCMT ระดับ 2 และ 3 มีระดับการนำไฟฟ้าเฉลี่ย 6.25 ms/cm และ 6.78 ms/cm

2. การใช้ค่าการนำไฟฟ้าตรวจโรคเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการในโคนม เป็นวิธีการที่เป็นตัวบ่งชี้ในการวินิจฉัยโรคเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการได้ โดยจะทำการวัดความเข้มข้นของแอนไอออนและแคทไอออน จะสังเกตได้ว่าโคนมที่เป็นโรคเต้านมอักเสบแบบไม่แสดงอาการจะมีค่า EC สูงกว่าโคนมที่ไม่เป็นโรค

ด้านมอกเสบ การใช้ค่าการนำไฟฟ้าเพื่อประเมินสภาวะด้านมอกเสบมีความคล้ายคลึงกับวิธีการอื่นๆ ในการตรวจคือสามารถตรวจได้ง่าย และตรวจได้ในระดับฟาร์ม

3. การเปรียบเทียบองค์ประกอบน้ำนมพบว่า เปอร์เซ็นต์ไขมันของน้ำนมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 2 และ 3 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่แตกต่างกับน้ำนมโคปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เปอร์เซ็นต์โปรตีนจากน้ำนมจากโคปกติกับน้ำนมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 2 ไม่แตกต่างจากน้ำนมที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 3 ค่าแล็กโทส และของแข็งทั้งหมดในน้ำนมจากโคปกติกับน้ำนมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 3 พบว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่น้ำนมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 2 ไม่มีความแตกต่างกับน้ำนมจากโคปกติ และน้ำนมจากโคที่มีผลบวกจากการทดสอบ CMT ระดับ 3

4. ค่าสหสัมพันธ์ระหว่าง ค่าการนำไฟฟ้า กับองค์ประกอบน้ำนม ไขมัน แล็กโทส ของแข็งไม่รวมไขมัน และของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ในระดับต่ำ 0.26-0.38 และเป็นไปในเชิงลบ

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในครั้งนี้พบว่าค่าการนำไฟฟ้าในน้ำนมสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อการวิจัยในการทดสอบสภาวะการอักเสบของเต้านมแบบไม่แสดงอาหาร อย่างไรก็ตามค่าการนำไฟฟ้าและการตรวจโดยวิธี CMT หากใช้ร่วมกันความน่าเชื่อถือของวิธีการเหล่านี้จะเพิ่มสูงขึ้นหากนำมาใช้ร่วมกัน และหาวิธีการรักษาเต้านมอักเสบโดยการวางแผนการป้องกัน และรักษาโรคเต้านมอักเสบ โดยพิจารณาผลของการทดสอบซีเอ็มที ค่าการนำไฟฟ้า และการจัดการอื่น ๆ ต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- จตุพร กระจ่ายศรี อนุสรณ์ จำเอนชื่น จาลอง มิตรชาวไทย และชนาธิป ธรรมกร. 2557. “ประสิทธิภาพของวัคซีน Mastivac สำหรับป้องกันโรคเต้านมอักเสบในแม่โคนม”. สัตวแพทย์สาร. 9(1); 37-48.
- ชุมพล นาครินทร์ นัฐฐา ศิริเจริญไชย และคมวุฒิ ธรรมสาร. 2552. “คุณภาพน้ำนมดิบของฟาร์มโคนมจังหวัดชัยภูมิระหว่างปี 2550-2552”. เลขทะเบียนผลงานวิชาการ 53(2)-0116(3)-018. งานวิจัย กรมปศุสัตว์ สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2558. จาก pvlo-cpm.dld.go.th/knowledge/research.html.
- ธีรพงศ์ ธีรภัทรสกุล. 2542. “ความเสียหายที่เกิดจากโรคเต้านมอักเสบ”. ใน **ประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านสุขภาพโคนม: แนวทางการวิจัยและพัฒนาในอนาคต**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.), หน้า 126-133.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2547. “มาตรฐานสินค้าเกษตรน้ำนมโคดิบ”. สืบค้นเมื่อ 28 มกราคม 2558. จาก www.acfs.go.th/standard/download/raw_cow_milk.pdf.
- Fosgate, G.T., I.M. Petzer, J. Karzis. 2012. “Sensitivity and specificity of a hand-held milk electrical conductivity meter compared to the California mastitis test for mastitis in dairy cattle”. **The Veterinary Journal**. 196 (1), 98–102.

- Ile, L.I., L. Tudor, A. M. Galis. 2010. "The electrical conductivity of cattle milk and the possibility of mastitis diagnosis in Romania". **Lucrari Stiintifice Medicina Veterinara**. 23 (2), 220-227.
- Semacan, A., N. Baspinar, T. Tekeli, M. Demirel, F. Kurdoglu. 1999. "Predicting the foaling time by measuring the electrical conductivity and electrolyte contents of the prepartum mammary secretion". **Journal of Equine Veterinary Science**. Vol. 19 (2), 81-83.
- Philpot, W. N. 1991. **Mastitis management**. (2,nd), Illinois; Badson Bros Oak Brook Inc.
- Steel, R. G. D. and J.W. Torrie. 1980. **Prinaiple and procedures of statistics: A Biometric Approach**. The. (2,nd), NY. McGraw-Hill Book co Inc.

**การสังเคราะห์และศึกษาโครงสร้างของเซรามิกแบเรียมสตรอนเทียมไททาเนตที่เตรียม
โดยกระบวนการไฮบริดโดยใช้กรดซิตริกเป็นสารเชื้อเพลิง**

**SYNTHESIS AND STRUCTURE STUDY OF BARIUM STRONTIUM
TITANATE POWDERS PREPARED BY HYBRID METHOD USING
CITRIC ACID AS FUEL**

ภาวิณี บุตรคต

นิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: kaew_19@windowslive.com

ดร.ศราวุฒิ เกื้อนถ้ำ

อาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Research Center for Academic Excellence in Applied Physics

E-mail: sarawutt@nu.ac.th

บทคัดย่อ

ผงผลึกแบเรียมสตรอนเทียมไททาเนต (BST) ถูกเตรียมขึ้นโดยวิธีการไฮบริด ที่ผสมผสานระหว่างวิธีปฏิกิริยาของแข็งกับวิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้โซล-เจลร่วมกับสารเชื้อเพลิงกรดซิตริก สารตั้งต้นของวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง (SR) และจากวิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้โซล-เจล (SC) ถูกผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนโดยโมลของ SR:SC เท่ากับ 1:0.1 1:0.2 และ 1:0.3 โดยแผนเคลือบที่อุณหภูมิ (650 750 850 และ 950 °C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการตรวจสอบโครงสร้างผงผลึก BST ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่าโครงสร้างของผงผลึกมีการเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่างกัน โครงสร้างที่บริสุทธิ์ ซึ่งมีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์ ที่อัตราส่วนโดย โมลของ SR:SC เท่ากับ 1:0.3 ที่อุณหภูมิ 950 °C ตรงตามฐานข้อมูล JCPDS 34-0411 และการตรวจสอบลักษณะทางจุลภาคของผงผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าอนุภาคมีลักษณะกลม และมีการเกาะกลุ่มกันอย่างหนาแน่น โดยมีขนาดเฉลี่ยที่ 145.52 นาโนเมตร

คำสำคัญ: แบเรียมสตรอนเทียมไททาเนต วิธีไฮบริด วิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้โซล-เจล วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง

ABSTRACT

Barium Strontium Titanate (BST) ceramic powders were prepared via hybrid method between solid-state and sol-gel combustion methods using citric acid as fuel. The solid-state reaction (SR) and sol-gel

combustion (SC) precursors were mixed at 1:0.1, 1:0.2, and 1:0.3 in molar ratio; afterward, the mixtures were calcined at the varies temperatures (650, 750, 850, and 950 °C) for 2 hrs. Subsequently, the BST powders were obtained. The crystal structures of the powders were revealed by the XRD method which showed the phase transformation of the samples at the different temperatures. Furthermore, the pure phase of perovskite structure, corresponding to JCPDS 34-0411, was optimized at the calcination temperature of 950 °C in the ratio 1:0.3. According to SEM, the powder microstructures were investigated. The particles agglomerated were spherical in shape with their average size of 145.52 nm.

KEY WORDS: barium strontium titanate, hybrid method, sol-gel combustion method, solid-state method

บทนำ

แบเรียมสตรอนเทียมไททาเนต ($\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{TiO}_3$; BST) เป็นสารที่มีโครงสร้างผลึกอยู่ระหว่างรอมโบอีดรอลและเตตระโกนอล ถือว่าเป็น โครงสร้างที่ก่อให้เกิดสมบัติทางเพียโซอิเล็กทริกที่ดีที่สุด เพราะเกิดโพลาไรเซชัน และ โดเมนไฟฟ้าสูงกว่าสารปกติ แบเรียมสตรอนเทียมไททาเนตเป็นวัสดุที่สามารถนำมาทำเครื่องมือตรวจวัดหรือ อุปกรณ์ตรวจจับคลื่นไมโครเวฟได้ เนื่องจากเป็นเซรามิกซึ่งแสดงสมบัติเพียโซโรอิเล็กทริก ไพโรอิเล็กทริก และเพียโรอิเล็กทริก (Zhu *et al.*, 2000) และมีสมบัติที่สำคัญคือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง ในขณะที่การค่าสูญเสีย ไดอิเล็กทริกค่อนข้างต่ำ(dielectric loss tangent) และสามารถปรับเปลี่ยนตามสนามไฟฟ้า (electric-field tunability) หรือแสดงสมบัติไฟฟ้าอื่นๆเช่น เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าเมื่อมีการดูดซับ รังสีความร้อน ก๊าซ หรือ ไออน้ำ นอกจากนี้ยังมีเสถียรภาพด้านอุณหภูมิ (temperature stability) และมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ดังนั้นจึงมีการศึกษาและพัฒนา BST ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัด ก๊าซไฮโดรเจน (Wang *et al.*, 2004) ความชื้น (humidity sensors) (Ke *et al.*, 2000) ไมโครเซนเซอร์ (เช่น bolometers) รวมทั้งเซนเซอร์ชีวภาพ (biosensors) และเมื่อไม่นานมานี้ มีรายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นว่า BST สามารถรับรู้และตอบสนองต่อก๊าซแอมโมเนีย (Roy *et al.*, 2005) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไออน้ำ (H_2O) ได้โดยตรวจวัดปริมาณก๊าซแอมโมเนียที่อุณหภูมิ (operating temperature) ต่ำกว่า 270°C ในระดับ 160 ppm อีกทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับก๊าซชนิดอื่น ๆ ได้อีก เช่น ethanol, NO_2 และ CO เป็นต้น

ด้วยคุณสมบัติของ BST ดังที่ได้กล่าวมาแล้วจึงมีการสังเคราะห์ BST เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ และทางไฟฟ้าโดยวิธีต่าง ๆ เช่น ปฏิกิริยาของแข็ง (solid state reaction) (Bongkarn *et al.*, 2008) การตกตะกอนร่วม (co-precipitation) (Agarwal *et al.*, 2004) ไฮโดรเทอร์มอล (hydrothermal) (Ryan *et al.*, 1999) โซล-เจล (sol-gel) (Sharma *et al.*, 2000) และปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโซล-เจล (sol-gel combustion) (Thongchanthep *et al.*, 2013) เป็นต้น โดยแต่ละกระบวนการมีปัจจัยและเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณลักษณะของสารที่เตรียมได้ เช่น วิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง เป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่มีอุณหภูมิเผาก่อนปฏิกิริยาสูงโดยเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิถึง 1200 °C และสารที่เตรียมได้มีเฟสต่างๆเจือปนมาก วิธีการตกตะกอนร่วมมีอุณหภูมิเผาก่อนปฏิกิริยาต่ำ สารที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูง แต่การควบคุมสารองค์ประกอบทำได้ยาก ส่วนวิธีโซล-เจล เป็นการสังเคราะห์ทางเคมีที่ไม่ยุ่งยาก เพราะใช้เครื่องมือไม่ซับซ้อน ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์มาก แต่สาร

ตั้งต้นซึ่งอยู่ในรูปโซลต้องใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการสังเคราะห์ BST โดยใช้วิธีการไฮบริด (hybrid) ซึ่งเป็นการสังเคราะห์ร่วมกันทั้งสองวิธี คือ วิธีปฏิกิริยาของแข็ง (solid state reaction) กับปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโซล-เจล ร่วมกับสารเชื้อเพลิง (sol-gel combustion) เพื่อดึงเอาข้อเด่นของทั้งสองวิธีนี้มาเสริมกันโดยปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโซล-เจล ร่วมกับสารเชื้อเพลิงจะช่วยก่อปฏิกิริยาเคมีกับวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งให้เกิดสาร BST เร็วขึ้นและใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็งแบบธรรมดา เพื่อให้ได้สาร BST ที่มีความหนาแน่นมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าไดอิเล็กทริกสูง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์เซรามิก $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{TiO}_3$ ที่เตรียมโดยวิธีการไฮบริด โดยผสมผสานระหว่างสองวิธีการคือวิธีการปฏิกิริยาของแข็ง (SR) กับวิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโซล-เจล (SC) ในอัตราส่วนโดยโมล SR:SC เท่ากับ 1:0.1 1:0.2 และ 1:0.3 ร่วมกับสารเชื้อเพลิงชนิดกรดซิตริก
2. เพื่อศึกษาโครงสร้างผลึกโครงสร้างทางจุลภาคของผงเซรามิก $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{TiO}_3$ ที่เตรียมโดยวิธีการไฮบริดร่วมกับสารเชื้อเพลิง

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. การเตรียมผงผลึกแบบเรซินสตรอนเทียมไททานเตดด้วยวิธีการ sol-gel

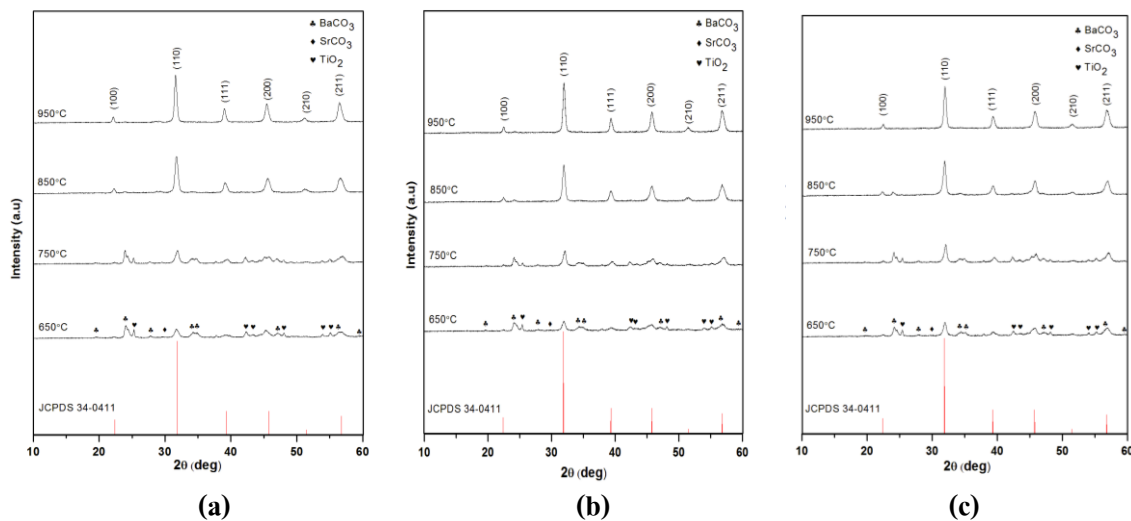
นำ Citric acid monohydrate ปริมาณ 0.3 0.2 และ 0.3 mol ละลายใน deionized water แล้วนำมาผสมให้เข้ากัน แล้วเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับค่า pH ให้เท่ากับ 9 หลังจากนั้นเติม $\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{O}_4\text{Ti}$ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ และ $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงจะได้ โซลของ BST จากนั้นนำไปเก็บเพื่อปรับสภาพ และเติมสารเชื้อเพลิงกรดซิตริก ในอัตราส่วน 1:1 โดยโมล

2. การเตรียมผงเซรามิกแบบเรซินสตรอนเทียมไททานเตด solid-state

นำสารตั้งต้น BaCO_3 ผสมกับ SrCO_3 แล้วนั้นผสม TiO_2 จากนั้นบดย่อยสารผสมด้วยเม็ดบดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการอบแห้งจนกระทั่งได้ผง แล้วนำผงและ โซล – เจล มาผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนโดยโมล SR:SC เท่ากับ 1:0.1 1:0.2 และ 1:0.3 โดยโมล แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 650 750 850 และ 950°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำมาตรวจสอบโครงสร้างและโครงสร้างทางจุลภาคด้วยเครื่อง XRD และ SEM

ผลการทดลอง

ภาพที่ 1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของผงผลึก BST ที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนโดยโมลของ SR:SC (เท่ากับ 1:0.1 1:0.2 และ 1:0.3) โดยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆ (650°C – 950°C) พบว่าเกิดโครงสร้างของ BST ตั้งแต่ที่อุณหภูมิ 650°C แต่โครงสร้างที่พบยังไม่บริสุทธิ์เนื่องจากยังมีโครงสร้างของสารตั้งต้นหลงเหลืออยู่ (BaCO_3 SrCO_3 และ TiO_2) แต่พบโครงสร้างที่บริสุทธิ์ 100 % ที่อัตราส่วนโดยโมลของ SR:SC เท่ากับ 1:0.3 ที่อุณหภูมิ 950°C ดังแสดงในรูปที่ 1(c) ซึ่งมีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์ที่สอดคล้องกับฐานข้อมูล JCPDS 34-0411

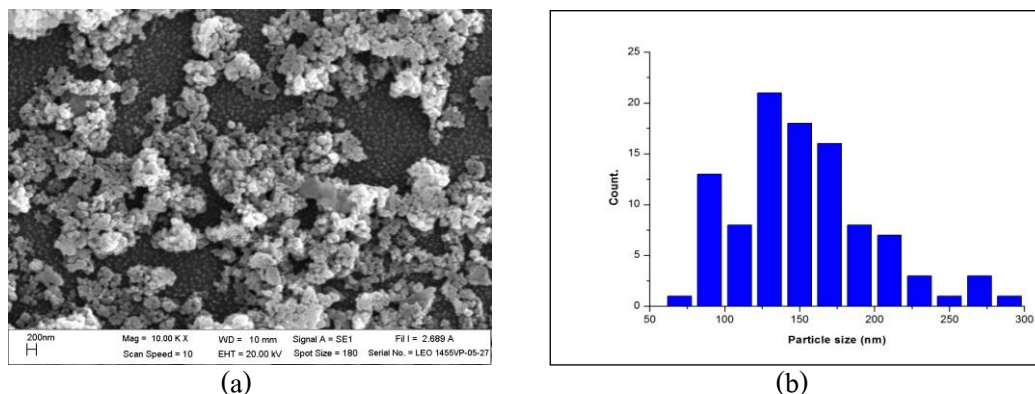


รูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึก ของผงผลึกสตรอนเทียมไททานเตที่เตรียมโดยวิธีไฮบริดอัตราส่วนโดยโมลของ SR:SC เท่ากับ (a) 1:0.1 (b) 1:0.2 และ (c) 1:0.3 ที่อุณหภูมิแคลไซน์ 650 750 850 และ 950 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละความบริสุทธิ์เฟอโรฟสไกต์ของผงผลึก BST ที่เตรียมโดยวิธีไฮบริดโดยใช้กรดซิดริกเป็นสารเชื่อมเพลิงในอัตราส่วนต่างๆ

อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (°C)	ร้อยละความบริสุทธิ์เฟอโรฟสไกต์ (%)		
	SR : SC		
	1:0.1	1:0.2	1:0.3
650	19.35	27.66	34.34
750	28.93	39.11	39.57
850	98.09	98.62	93.02
950	98.84	98.85	100

จากตารางแสดงร้อยละความบริสุทธิ์เฟอโรฟสไกต์ของผงผลึก BST จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 650 - 750 °C มีการเกิดโครงสร้างเฟอโรฟสไกต์โดยร้อยละความบริสุทธิ์อยู่ในช่วง 19.35 - 39.57 สาเหตุเพราะยังมีโครงสร้างของสารตั้งต้นเหลืออยู่ BST ที่เตรียมด้วยวิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโซล-เจล เริ่มมีแนวโน้มเกิดโครงสร้างบริสุทธิ์ของ BST เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน มีการเกิดโครงสร้างบริสุทธิ์ของ BST ที่อุณหภูมิ 750 °C (Thongchanthep *et al.*, 2013) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 850 °C จะเห็นว่าร้อยละความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และ BST ที่เตรียมจากทั้งสองวิธีทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น จึงทำให้เกิดโครงสร้างที่บริสุทธิ์ของ BST ที่อุณหภูมิ 950 °C



รูปที่ 2. (a) แสดงโครงสร้างจุลภาคของผงผลึก BST ในอัตราส่วนโดยโมลของ SR:SC เท่ากับ 1:0.3 โดยใช้ อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ 950 °C (b) แสดงการกระจายตัวของขนาดผงผลึก

จากการศึกษาพื้นฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของผงผลึก BST ในอัตราส่วน 1:0.3 โดยโมล ที่เผาแคลไซน์ที่ 950 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าผงผลึกมีลักษณะกลม และเกาะกลุ่มกันดังแสดงในรูปที่ 2(a) โดยอนุภาคมีขนาดเฉลี่ยที่ 145.52 นาโนเมตร รูปที่ 2(b) แสดงการกระจายตัวของขนาดอนุภาค ในช่วงต้นจะเห็นว่าอนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร และในช่วงหลังจะเกิดอนุภาคที่มีขนาดในระดับไมโครเมตรจำนวนมาก

สรุปผลการวิจัย

ผลึกแบเรียมสตรอนเชียมไททาเนตที่เตรียมขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการไฮบริดซึ่งผสมผสานระหว่างวิธีปฏิกิริยาของแข็งกับวิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้โซล-เจลร่วมกับสารเชื่อมเพลิงโดยใช้กรดซัลฟริกเป็นสารเชื่อมเพลิง ในอัตราส่วนโดยโมล ของ SR:SC เท่ากับ 1:0.1 1:0.2 และ 1:0.3 โดยทำการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่าง (650 750 850 และ 950 °C) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการตรวจสอบโครงสร้างของผลึก BST ด้วยเทคนิค XRD พบโครงสร้างของผลึกตั้งแต่อุณหภูมิการเผา 650 °C ขึ้นไป แต่โครงสร้างที่พบยังไม่บริสุทธิ์เนื่องจากยังมีโครงสร้างของ BaCO_3 , SrCO_3 และ TiO_2 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลงเหลืออยู่ ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าที่อุณหภูมิ 850 °C จะเห็นว่ามีร้อยละความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจาก BST ที่เตรียมด้วยวิธีปฏิกิริยาการเผาไหม้ของโซล-เจลร่วมกับกรดซัลฟริกนั้นมีการเกิดโครงสร้างของ BST ตั้งแต่ที่อุณหภูมิที่ 750 °C แล้ว ดังนั้นจึงช่วยให้ BST ที่เตรียมจากวิธีไฮบริดนี้เกิดการทำปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ทำให้เกิดโครงสร้างที่บริสุทธิ์ 100 % ของ BST ที่อุณหภูมิ 950 °C ในอัตราส่วนโดยโมล ของ SR:SC เท่ากับ 1:0.3 ซึ่งมีโครงสร้างแบบเพอรอฟสไกต์ ตรงตามฐานข้อมูล JCPDS 34-0411 และจากการตรวจสอบลักษณะทางจุลภาคของผงผลึกด้วย SEM พบว่าอนุภาคมีลักษณะกลมและมีการเกาะกลุ่มกันอย่างหนาแน่น โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 145.52 นาโนเมตร

¹ การเผาแคลไซน์ มาจากคำว่า calcination หมายถึง การเผาก่อนปฏิกิริยาเพื่อไล่ น้ำ สารอินทรีย์และก๊าซต่างๆและก่อนปฏิกิริยา

รายการอ้างอิง

- Agarwal, S., S.B. Samanta, and G.L. Sharma. 2004. Influence of pH on structural and electrical properties of sol – gel derived (Ba, Sr) TiO_3 thin film under humid conditions. **Thin Solid Films**. (447–448): 502 – 508.
- Bongkarn, T., and C. Wicheanrat. 2008. Preparation of Barium Strontium Titanate Ceramics via Combustion Method. **Advance Materials Research**. (55-57): 185 – 188.
- Ke, S., H. Huang, H. Fan, H.L.W. Chan, and L.M. Zhou. 2008. Structural and electric properties of barium strontium titanate based ceramic composite as a humidity sensor. **Solid State Ionics**. 179: 1632 – 1635.
- Roy, Somnath C., Roy, G.L. Sharma, M.C. Bhatnagar, and S.B. Samanta. 2005. Novel ammonia-sensing phenomena in sol-gel derived $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ thin films. **Sensors and Actuators B: Chemical**. 110(2): 299 – 303.
- Ryan K. Roeder, and Elliott B. Slamovich. 1999. Stoichiometry control and phase selection in hydrothermally derives $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ powders. **Journal of the American Ceramic Society**. 82(7): 1665 – 1676.
- Sharma, Pramod K., V.V. Varadan, and V.K. Varadan. 2000. Porous behavior and dielectric properties of barium strontium titanate synthesized by sol–gel method in the presence of triethanolamine. **Chem. Mater**. 12(9): 2590 – 2596.
- Thongchanthep, C., and S. Thountom. 2013. Effect of the Fuel Type on the Synthesis of Barium Strontium Titanate by Sol – Gel Combustion Method. **Advance Materials Research**. 802: 149 – 153.
- Wang, J.Y., Wang, X. Yao, and L.Y. Zhang. 2004. Preparation and dielectric properties of barium strontium titanate glass-ceramics sintered from sol–gel-derived powders. **Ceram. Int**. 30 (7): 1749 – 1752.
- Zhu, W., O.K. Tan, Q. Yan, and J.T. Oh. 2000. Microstructure and hydrogen gas sensitivity of amorphous (Ba,Sr) TiO_3 thin film sensor. **Sensors and Actuators B: Chemical**. 65(1-3): 366 – 370.

ความต้านทานอนุมูลอิสระของชาสังกรณีผสมใบเตย

THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *BARLERIA STRIGOSA* WILLD TEA CONTAINING PANDAN LEAVES

สราวุธ เชมณี

คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

Email: Geoff452@gmail.com

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความต้านทานอนุมูลอิสระของชาสังกรณีผสมใบเตย ตัวอย่างถูกสกัดด้วยเมทานอล เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ เครื่องดื่มเตรียมขึ้นเป็นชาที่ละลายได้และบรรจุในซองชาที่ทำด้วยกระดาษ การชงชาหนึ่งซองใช้เวลา 5 นาทีในน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะการเสิร์ฟมาตรฐานเป็นถ้วยวิธี 2, 2' ไดฟีนิล-2-พิกริลไฮดราซัล, ดีพีพีเอช ใช้สำหรับวิเคราะห์สมบัติความต้านทานอนุมูลอิสระ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นค่าความต้านทานอนุมูลอิสระในสารสกัดเมทานอลที่ $78.83 \pm 0.14\%$ ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมเอสพีเอสเอส พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ค่าความเป็นไปได้ได้น้อยกว่า 0.05 จากค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานอนุมูลอิสระของชาสังกรณีผสมใบเตย สรุปได้ว่าการบริโภคเครื่องดื่มนี้มีค่าความต้านทานอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ การค้นพบในครั้งนี้อาจให้ข้อมูลที่จำเป็นต่อความสัมพันธ์ที่ก่อให้เกิดสุขภาพที่ดีและการป้องกันโรคจากการบริโภคชาสมุนไพรได้

คำสำคัญ: ค่าความต้านทานอนุมูลอิสระ สังกรณี ใบเตย ชา

ABSTRACT

In this study aims to evaluate the antioxidant activity of *Barleria strigosa* Willd tea containing Pandan leaves. The sample, was extracted with methanol, was used for determination. The beverage was prepared as a soluble tea, and packed in paper bag in 3 gram of weight. A tea bag was infused over 5 min in 200 mL of hot water. Under these standard cup serving conditions, the 2,2'-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH assays was used to determine antioxidant properties by measuring the decrease in absorbance at 517 nm wavelength. The tea product showed the antioxidant activity in methanolic extract with 78.8327 % . The results of SPSS programme analysis showed significant differences of $p < 0.05$ in the means of antioxidant activity of *Barleria strigosa* Willd tea containing Pandan leaves. In conclusion, this commonly consumed beverage has a significant antioxidant activity. This finding possibly provides information necessary for evaluating contributions to good health and disease prevention from herbal tea consumption.

KEYWORDS: Antioxidant activity, *Barleria strigosa* Willd, Pandan leaves, Tea

1. INTRODUCTION

From the ancient times, antioxidants from tea had been well-known studied. And herbal medications had been used for relief the symptoms of disease. Especially, plants still made a useful contribution to health care. Large number of medicinal plants had been determined for their antioxidant properties. They are very effective to prevent and treat disease, and maintain human health.

Barleria strigosa Willd is belonged to the family of Acanthaceae (Acanthus Family). It is a tall shrub, ovate decurrent leaves and blue flowers in dense spikes. *Barleria strigosa Willd* is natural located in India, and also in Australia. Its leaves and roots are used in cough and inflammation. (Faculty of Pharmacy, 2015). This plant has not studied yet about its antioxidant activity. However, the antioxidant property of six *Acanthaceae*, *Blepahris linearifolia*, *Dicliptera verticillata*, *Dyschoriste perrottetii*, *Hygrophila auriculata*, *Lepidagathis anobrya*, *Nelsonia canescens*, were studied during the year of 2006. (Wamtinga, R.S., et al., 2006). Values of the antioxidant activity varied between 16.33 and 785.67 $\mu\text{g ML}^{-1}$.

Pandan leaves are the leaves of the plant *Pandanus amaryllifolius*, sometimes called Pandon plant. Pandan plant is native to Asia and in tropical parts of Australia. It is mostly used in the Southeast Asian cooking. Its upright green plant has fan shaped sprays like structure of leaves that are narrow and blade-like. Pandan leaves are attached to the woody aerial roots of the plant. Pandan leaves are in dark green colour, with strong nutty aroma, and very beneficial for various health conditions. The benefits of Pandan leaves are useful for healing various wounds and said to be pain relievers and used that way to cure chest pain, headache, reduce fever, arthritis, earache, etc. Pandan leaves are also used as a healthy laxative for children. Its effective is in reducing stomach cramps and stomach spasm, and also used for preparation of various herbal teas, with other herbs like lemongrass, mulberry leaves, safflower, green tea and other such herbs. Bathing with water having boiled Pandan leaves, is still useful for treating skin diseases and sunburns. In addition, the mechanism of 2-AP absorption from non-aromatic rice mixed with Pandan leaves during cooking was studied by Faridah, Y., et.al, in 2011. (Faridah, Y., et.al, 2011).

Antioxidant activity is normally used as a parameter for medicinal bioactive components. Various methods are currently used to assess the antioxidant activity of plant phenolic compounds. However DPPH radical scavenging methods are common spectrophotometric procedures for determining the antioxidant capacities of components. (Gulçin, I, et al., 2010).

The aim of the present study was to use method for the assessment of antioxidant activity, namely, the 2,2'-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH method, to determine the usefully guided screening of plant extract. By this method should have a rapidly, sensitively, applicability equipment, the later step would show the correlation of the result obtained by the method. Finally, a new tea should be produced for consumption.

2.OBJECTIVES

A new source of antioxidant activity in the studied plants will be discovered, according to:

- 2.1 To study the process of *Barleria strigosa Willd* tea containing Pandan leaves.
- 2.2 A suitable packaging will be available used for commercial.
- 2.3 To measure the antioxidant activity of *Barleria strigosa Willd* tea containing Pandan leaves.

3.METHODS

3.1 Plants processing

Barleria strigosa Willd or Pandan leaves were purchased from a local market and collected in household plant in Nonthaburi, Thailand. The samples represent processed plant materials as fine cuts, shown in Figure 1. These samples were obtained after cutting, drying and fraction collecting, like in the tea factory. All samples were processed at the same day, under same conditions (drying in hot air oven at temperature from 100 °C to 105 °C for 5 hour). All samples were the same particle size.

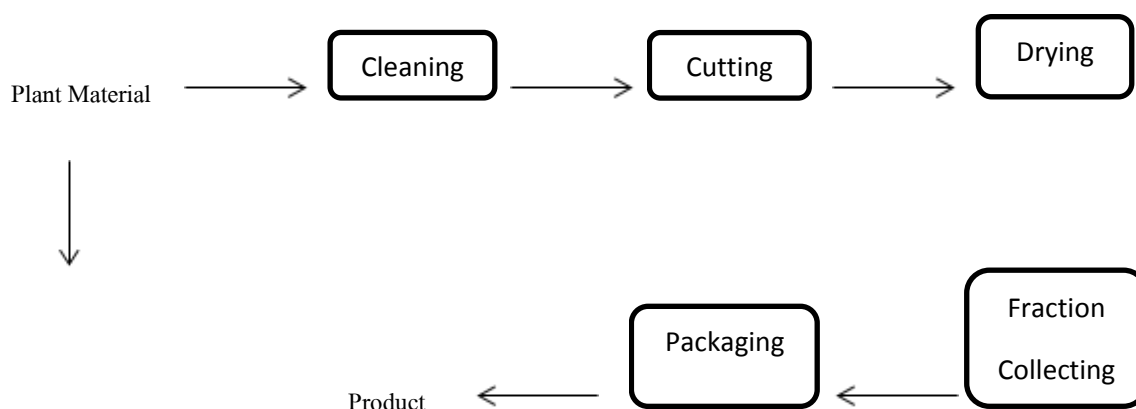


Figure 1 Processing of Raw plant material

3.2 Packaging

The tea was packed in paper bag at 3 gram of weight. And then the seal packaging was done in the aluminum bag. The packaging was evaluated for acceptance, and easily to use.

3.3 Preparation of plant extraction

Both fresh leaves, *Barleria strigosa Willd* and Pandan leaves were cut into pieces, crushing and the exactly 1 g of samples was stirred with 80 % aqueous methanol in the volume 20 ml for 30 minutes at room temperature. The mixture was filtered and diluted to the volume with methanol in a 25 ml volumetric flask and used as working solution of extracts at an appropriate concentration.

3.4 Determination of antioxidant activity by DPPH assay

The antioxidant activity was measured based on of the scavenging activities of the stable 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (Fisher Scientific , UK) free radical as described by Panovska,T.K., *et.al.*, 2005. with some modifications. Accordingly, 0.1 mL of the infusion sample (diluted in methanol: water (80:20)) was mixed with 3.9 mL of a methanolic solution of DPPH (0.025 mg/mL, prepared in methanol:water (80:20)). The solution was shaken, after 30 min the absorbance of the samples were measured at 517 nm using spectrophotometer (Biochrom Model Libra S22, UK). Methanol was used to set zero of the spectrometer. A blank containing the same amount of methanol and DPPH was prepared. All samples were measured in triplicates and their antioxidant activities were averaged using ascorbic acid as a reference compound. The radical scavenging activities of the tested samples, expressed as percentage inhibition of DPPH, were calculated according to the formula percentage inhibition = $[(AB - AA) / AB] \times 100$ (Yen G-C and Duh P-D, 1994) where AB and AA are the absorbance values of the test and of the blank, respectively, after 15 min. In each sample was used for statistical analysis. The mean values were carried out using the function in SPSS® Statistics for Windows Version 17.

4.RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Plants processing

Like other kinds of herbal teas, all leaves need to be dried for conservation and consumption purposes. From the benefits of the drying process, two goals are reached, on one hand the growth of microorganisms is prevented and on the other hand storage and transportation is facilitated, ready to serve.

4.2 Packaging

This *Barleria strigosa Willd* tea containing Pandan leaves was packed in suitable packaging, firstly in paper bag, and later in an aluminum foil, in order to get rid the moisture, shown as in Figure 2.



Figure 2 A herbal tea was packed in paper bag and an aluminum bag

4.3 Preparation of plant extraction

In this study, only one phase, the methanolic extract was studied, reporting that value for the DPPH assay. However, other phases were not studied.

4.4 Determination of antioxidant activity by DPPH assay

In this research, to evaluate the change in antioxidant activity of processed plant material, DPPH test, as simple and fast method of determination, has been applied. The DPPH method is representative of the methods employing model radicals in the evaluation of radical scavengers. This DPPH method gains high popularity over the last decade, because of its rapidity and sensitive. No expensive reagents or sophisticated instrumentation are required.

Table 1. Radical scavenging activity of the extract of *Barleria strigosa Willd* and Pandan leaves tea by DPPH

Radical scavenging activity of the extract	
Types of Plant	Total methanolic extract
<i>Barleria strigosa Willd</i> and Pandan leaves	78.83±0.14

*Value of fresh *Barleria strigosa Willd* tea shown at 91.62 ±0.97 %

The formula percentage inhibition was used to determine the antioxidant activity of investigated samples. It was reported that the antioxidant activity was at 78.83±0.14 %. Higher formula percentage inhibition value corresponds to a higher antioxidant activity in the sample. Due to the study of Irina I. K., *et al.*, 2001, showed some extracts of plants of the genus *Sideritis* (*S. scardica*, *S. montana* and *S. syriaca*), it was found that the radical scavenging activity were between 91.1-94.1 %, at high values. It seem that the formula percentage inhibition value of fresh *Barleria strigosa Willd* and Pandan leaves is higher than *Barleria strigosa Willd* and Pandan leaves tea. And it is in the same range of many types of plants in that previous study. {Irina I. K., *et al.*, 2001)

A study showed that phenolic compounds alone are not fully responsible for the antioxidant activity of plants. Other constituents such as ascorbates, tocopherols, reducing carbohydrates, carotenoids, terpenes, and pigments as well as the synergistic effect among them could possibly relate to the total antioxidant activity. (Babbar *et al.*, 2011).

5.CONCLUSION

In conclusion, It was mentioned that *Barleria strigosa Willd* and Pandan leaves tea has a good antioxidant activity, therefore it can be used to treat several diseases in which there is an increase in free radical production. However, non-phenolic substances can be responsible for the antioxidant activity. Therefore, further studies are needed to identify which phenolic compounds are responsible for the antioxidant activity of

the species, and assess the way in which the phenolic substances contribute to this activity. Additional *in vivo* antioxidant assays are needed to confirm the potential use of these species in disease treatment.

The herbal tea has improved their commercial importance. Since it is usually used as dried, determination of its drying characteristics are essential for its preservation and storage in longer periods. Due to important properties of health benefit compounds and demands of modern consumer, the tendency of modern food producers is to produce the final food product with preserved content of vitamin C, phenolic compounds and other valuable phytochemicals.

6. RECOMMENDATION

The other different drying processes could be more applied, such as spray drying, freeze drying, and shade drying.

Fresh tea leaf is unusually rich in the flavanol group of polyphenols known as catechins which may constitute up to 30% of the dry leaf weight. Other polyphenols include flavonols and their glycosides. The polyphenols are the most significant group of tea components, their complex chemistry should be study in some detail. The potential herbs should be further studied for their active substances and other biological activities.

7. ACKNOWLEDGMENTS

This research is supported by the Food Technology Laboratory of Dhurakij Pundit University.

8. REFERENCES

- Atoui, A.K., Mansouri, A., Boskou, G., Kefalas, P., 2005. Tea and herbal infusion: their antioxidant activity and phenolic profile. **Food Chemistry**. 89: 27–36.
- Babbar, N., Oberoi, H.S., Uppal, D.S., Patil, R.T., 2011. Total phenolic content and antioxidant capacity of extracts obtained from six important fruit residues. **Food Res. Intern.** 44:391–396.
- Barnes, J., Anderson, L.A., Philipson, J.D., 2007. **Herbal Medicine**, 3rd Ed. Pharmaceutical Press, London.
- Faculty of Pharmacy, Ubon ratchathani University, “Sang Korani” **Herbal Data**. Retrieved July 6, 2015, from <http://www.phargarden.com>
- Faridah Y.B., Peter J. F., Serafim B., 2011. The absorption of 2-acetyl-1-pyrroline during cooking of rice (*Oryza sativa* L.) with Pandan (*Pandanus amaryllifolius* Roxb.) leaves. **Procedia Food Science**. 1:722 – 728.
- Gulçin, I., Huyut, Z., Elmastas, M., Aboul-Enein, H.Y., 2010. Radical scavenging and antioxidant activity of tannic acid. **Arab J. Chem.** 3: 43–53.
- Irina I. K., Teris A. v.B., Jozef P. H. L., Aede de G., and Lyuba N. E., 2001, Screening of Plant Extracts for Antioxidant Activity: a Comparative Study on Three Testing Methods, **Phytochem. Anal.** 13: 8–17.

- Panovska,T.K., Kulevanova, S., and Stefona, M., 2005. In vitro antioxidant activity of some Teucrium species (*Lamiace*). **Acta Pharm.** 55: 207 –214.
- Wamtinga, R.S., Aline, M., Charles, E.L., Martin, K., Innocent, P.G., and Odile, G.N., 2006. Phenolic content and antioxidant activity of six Acanthaceae from Burkina Faso. **J. of Biological Sciences**, 6(2):249-252.
- Yen G-C and Duh P-D, 1994.Scanvening effect of methanolic extracts of peanut hulls on free-radical and active-oxygen species. **J Agri Food Chem**, 42:629-632.

**พิษของสารคลอร์ไพริฟอสต่อกิจกรรมเอนไซม์ ACETYLCHOLINESTERASE
ในแมงมุมสุนัขป่า (WADICOSA FIDELIS)
CHLORPYRIFOS ALTERED ACETYLCHOLINESTERASE ACTIVITY IN
WOLF SPIDER, WADICOSA FIDELIS**

ภาณุพงษ์ ทองเปรม

นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

E-mail : thongprem_p@silpakorn.edu

กัมปนาท ธาราภูมิ

อาจารย์ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์

E-mail : ktharapoom@gmail.com

บทคัดย่อ

แมงมุมสุนัขป่าในวงศ์ Lycosidae สามารถพบได้ทั่วไปในระบบนิเวศทุ่งหญ้าใกล้แหล่งน้ำ และระบบนิเวศนาข้าว โดยพบว่า แมงมุมสุนัขป่าถูกจัดเป็นแมงมุมที่มีจำนวนมากเป็นอันดับต้นๆ ของแมงมุมที่หากินตามพื้นดินในระบบนิเวศนาข้าว มีหน้าที่เป็นตัวห้ำ ช่วยควบคุมแมลงศัตรูพืชได้หลายชนิด ในปัจจุบันสารคลอร์ไพริฟอสถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นสารกำจัดแมลงศัตรูพืชอย่างแพร่หลาย ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อแมงมุมสุนัขป่า ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบกึ่งเฉียบพลันของสารเคมีกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอส ต่อแมงมุมสุนัขป่า (*Wadicosia fidelis*) โดยวิเคราะห์จากกิจกรรมของเอนไซม์ Acetylcholinesterase (AChE) เมื่อแมงมุม *W. fidelis* ตัวเต็มวัย ได้รับสารคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้นต่ำกว่าระดับที่ทำให้เกิดการตายเฉียบพลัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากผลการศึกษาพบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ AChE ถูกยับยั้งมากขึ้นถึง 77.55% และ 68.80% เมื่อได้รับสารคลอร์ไพริฟอสที่มีความเข้มข้นเทียบเท่ากับ LC_{50} ในแมงมุมเพศเมียและแมงมุมเพศผู้ตามลำดับ

คำสำคัญ: แมงมุมสุนัขป่า, คลอร์ไพริฟอส, พิษกึ่งเฉียบพลัน, Acetylcholinesterase

ABSTRACT

Wolf spider of family Lycosidae is commonly found in grassland near water areas, especially in a paddy field ecosystem. The wolf spider is classified as a dominant group of ground spiders which normally inhabits in a paddy field. They play an important role as a predator which control many groups of insect pest. However, a synthesized chlorpyrifos insecticide has been used widely by farmers to control various pest species, might affect the effective predators; like wolf spiders. In this study, we investigated the sub-acute effect

of chlorpyrifos insecticide on wolf spider species *Wadicosa fidelis* by observing the Acetylcholinesterase (AChE) activity, when the adult spider was treated with low concentrations of chlorpyrifos, lower than the acute concentration, for 48 hours. The result indicated the AChE activity was inhibited up to 77.55% and 68.80% at the LC₅₀ of chlorpyrifos treatments in female and male, respectively.

KEYWORDS: Lycosidae, Chlorpyrifos, Sub-acute effect, Acetylcholinesterase

บทนำ

โดยธรรมชาติในระบบนิเวศเกษตรกรรม สิ่งมีชีวิตจะมีความสัมพันธ์กันในเรื่องของห่วงโซ่อาหาร โดยแมลงศัตรูพืชจะมีสัตว์ที่เป็นศัตรูธรรมชาติของแมลงเหล่านั้นคอยควบคุมจำนวนประชากรอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการระบาดได้ (Hawkins et al., 1999) แต่เกษตรกรส่วนใหญ่เลือกใช้สารเคมีสังเคราะห์กำจัดแมลง เช่น สารพาราไธออน (parathion) มาลาไธออน (malathion) ไดอะซีนอน (diazinon) ไดคลอวอส (dichlorvos) และ คลอร์ไพริฟอส (chlorpyrifos) เป็นต้น ซึ่งเป็นสารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphate) ออกฤทธิ์โดยตรงกับระบบประสาท โดยไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Acetylcholinesterase (AChE) ทำให้เกิดการส่งกระแสประสาทอยู่ตลอดเวลา ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการหดเกร็งกล้ามเนื้ออย่างรุนแรง (Christensen et al., 2006) สารคลอร์ไพริฟอสเป็นสารที่มีปริมาณการนำเข้ามากที่สุดในประเทศไทยปี พ.ศ. 2550, 2551, 2553 และ 2555 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ดังนั้นการใช้สารเคมีกลุ่มนี้อย่างแพร่หลาย จึงอาจส่งผลกระทบต่อสัตว์ที่เป็นศัตรูธรรมชาติซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบนิเวศเกษตรกรรมทำให้มีจำนวนน้อยลงไปด้วย

แมงมุมสุนัขป่าในวงศ์ Lycosidae สามารถพบได้ทั่วไปในระบบนิเวศทุ่งหญ้า ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ และระบบนิเวศนาข้าว แมงมุมสุนัขป่าถูกจัดเป็นแมงมุมที่มีจำนวนมากเป็นอันดับต้นๆ ของแมงมุมที่หากินตามพื้นดิน มีบทบาทเป็นศัตรูธรรมชาติของแมลงศัตรูพืชหลายชนิด เช่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (Heong et al., 1990; Chaiyawat and Chan-uthai, 2001) และเพลี้ยจักจั่นสีเขียว เป็นต้น โดยพฤติกรรมของแมงมุมสุนัขป่า จะมีการล่าเหยื่อและซุ่มดักจับเหยื่ออยู่ตามพื้นดิน (Foelix, 2011) ซึ่งมีโอกาสได้รับและสัมผัสกับสารพิษจากสารเคมีสังเคราะห์ที่กำจัดแมลงได้ (Hof et al., 1995; Hodge and Vink, 2000; Babczyńska et al., 2006) ในการได้รับสารกำจัดแมลงในปริมาณน้อย อาจไม่ทำให้แมงมุมตายในทันที แต่อาจส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆ ในร่างกายรวมถึงระบบประสาท (Eaton et al., 2008) เช่น รบกวนการทำงานของเอนไซม์ AChE ทำให้แมงมุมไม่สามารถส่งสัญญาณประสาทได้อย่างปกติ (Van Erp, 2002) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการแสดงออกทางพฤติกรรม ทำให้เกิดความผิดปกติในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มีความจำเป็นในการดำรงชีวิต ทำให้ลดประสิทธิภาพการเป็นตัวล่าในระบบนิเวศเกษตรกรรม (Tietjen, 2006) และไม่สามารถอยู่รอดได้จนครบวงจรชีวิต

เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความเป็นพิษของสารกำจัดแมลงต่อแมงมุมสุนัขป่า ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตนอกกลุ่มเป้าหมายที่สำคัญ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบของสารกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอส ในแง่ความเป็นพิษกึ่งเฉียบพลัน (subacute effects) โดยศึกษาการทำงานที่ผิดปกติของสารชีวโมเลกุลวิเคราะห์จากกิจกรรมเอนไซม์ AChE โดยใช้แมงมุมสุนัขป่า *Wadicosa fidelis* เป็นตัวแทนในการศึกษา

วิธีการศึกษา

1. การจับและเลี้ยงแมงมุม

จับแมงมุมจากพื้นที่นาข้าวแบบอินทรีย์ในจังหวัดนครปฐม โดยใช้วิธีการเดินหาแบบเห็นตัว (encounter survey) จับแมงมุมที่พบ จากนั้นนำมาหึ่งปฏิบัติการ จำแนกเพศและตัวเต็มวัยโดยอ้างอิงจาก Kronestedt and Zyuzin (2009) เลือกแมงมุมตัวเต็มวัยขนาดใกล้เคียงกัน ในเพศเมียเลือกใช้ตัวที่ยังไม่สร้างถุงไข่ (egg sac) เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้แมงมุมกินกันเอง จึงนำมาแยกเลี้ยงเดี่ยวในขวดแก้วขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm สูง 4.5 cm) ปิดจุกด้วยก้อนสำลี ภายในขวดใส่ก้อนสำลีขนาดเล็กชุบน้ำเป็ยกหมาด เพื่อเพิ่มความชื้นให้กับแมงมุม ให้แมลงหวี่ (*Drosophila melanogaster*) ชนิด wild type เป็นอาหารวันละ 2 ตัว เลี้ยงเป็นเวลาอย่างน้อย 2 วัน ก่อนนำไปทดสอบกับสารคลอร์ไพริฟอส

2. การทดสอบสารคลอร์ไพริฟอส

เตรียมสารคลอร์ไพริฟอส [ชื่อการค้า: เซนิไฟเลท 40, 40% emulsifiable concentration (EC); 40 mg ของสารคลอร์ไพริฟอส ในตัวทำละลายปริมาตร 100 ml, Zenithai Intertrade CO.,LTD] เข้มข้น 1.0, 3.0, 6.0, 9.0 ppm (กลุ่มควบคุมใช้น้ำกลั่นแทนสารคลอร์ไพริฟอส) ใช้งานแก้วเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm ขอบสูง 20 mm รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 เส้นผ่านศูนย์กลาง 110 mm โดยพับขอบกระดาษกรองให้ขึ้นมาเสมอกับขอบของจานแก้ว เพื่อให้มันใจว่าแมงมุมจะได้สัมผัสกับสารเคมีทุกๆ พื้นที่ในจานแก้ว เปิดสารละลายคลอร์ไพริฟอสความเข้มข้นต่างๆ ที่เตรียมไว้ปริมาตร 5.0 ml ลงบนกระดาษกรองส่วนกลุ่มควบคุมใช้น้ำกลั่นปริมาตร 5.0 ml ตั้งจานแก้วที่ใส่สารแล้วทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการกำจัดกลิ่นของคลอร์ไพริฟอส จากนั้นนำออกมาเปิดน้ำกลั่นปริมาตร 800 μ l ลงบนกระดาษกรองเพื่อเพิ่มความชื้น สุ่มนำแมงมุม *W. fidelis* เพศผู้และเพศเมียตัวเต็มวัยเพศละ 10 ตัว ใส่ลงในจานแก้วละ 1 ตัว ในแต่ละกลุ่มทดลอง ปิดด้วยพลาสติกใสสำหรับห่ออาหาร เจารู ด้วยเข็มเซตแมลงเบอร์ 0 จำนวน 20 รู ตั้งจานแก้วทิ้งไว้ในที่มืด งดการให้อาหารเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง หาค่า LC_{50} , LC_{30} และ LC_{10} ด้วย Probit analysis จากโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.5

3. การทดสอบกิจกรรมเอนไซม์ Acetylcholinesterase (AChE)

3.1 เตรียมเอนไซม์จากแมงมุม

นำแมงมุมมาทดสอบด้วยสารคลอร์ไพริฟอส (วิธีการเดียวกับหัวข้อที่ 2) ความเข้มข้นเทียบเท่า LC_{10} , LC_{30} และ LC_{50} (ตารางที่ 1) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำแมงมุมที่ยังไม่ตายไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้แมงมุมตายอย่างสงบ และรักษาสภาพของเอนไซม์ไว้ ล้างแมงมุมให้สะอาดทั้งตัวด้วย 0.2 M potassium phosphate buffer solution (PBS) pH 7.5 ในปริมาตร 3 ml จำนวน 3 ครั้ง นำแมงมุมจำนวน 3 ตัวในแต่ละกลุ่มการทดลองมาบดให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยเครื่อง homogenizer รุ่น Ultra Turrax ความถี่ 16,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 3 นาที ใน 0.2 M PBS pH 7.5 ปริมาตร 2 ml โดยแช่อยู่ในน้ำแข็งตลอดเวลา นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 g 30 นาที 2 ครั้ง นำสารละลายส่วนใสเก็บใน Eppendorf ห่อด้วยกระดาษฟอยล์ แช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า -4 องศาเซลเซียส เพื่อรักษาสภาพเอนไซม์ แต่ละกลุ่มทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง

3.2 ทดสอบกิจกรรมเอนไซม์

ดัดแปลงวิธีการจาก Ellman et al., (1961) และ Van Erp et al., (2002) โดยปีเปตเอนไซม์ที่เตรียมไว้ 100 μl ผสมด้วย 0.2 M PBS pH 7.5 ปริมาตร 1700 μl 0.5 mM DTNB ปริมาตร 100 μl ผสมให้เข้ากันใน cuvette ขนาด 3 ml ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำเข้าเครื่อง spectrophotometer ตั้งค่าการดูดกลืนแสงที่ 412 nm ปรับเป็นค่า blank จากนั้นเติม 15 mM acetylthiocholine iodide (ACT iodide) ปริมาตร 100 μl ผสมให้เข้ากัน โดย ACT iodide จะทำให้ปฏิกิริยาเริ่มต้นขึ้น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 412 nm โดยทันที ในโหมด timing scan บันทึกค่าการดูดกลืนแสงทุกๆ 15 วินาที เป็นเวลา 5 นาที ทำการบันทึกผลแบ่งเอนไซม์ที่เตรียมไว้ปริมาตร 50 μl เพื่อมาวัดค่าโปรตีนตามวิธีการของ Lowry et al., (1951) นำค่าการดูดกลืนแสงของกิจกรรมเอนไซม์ AChE และ ปริมาตรโปรตีนที่วัดได้ มาคำนวณหา กิจกรรมเอนไซม์ AChE ซึ่งมีหน่วยเป็น $\mu\text{moles}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mgprotein}^{-1}$ นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยโดยวิธีทางสถิติโดยใช้ ANOVA โปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.5

ผลการศึกษา

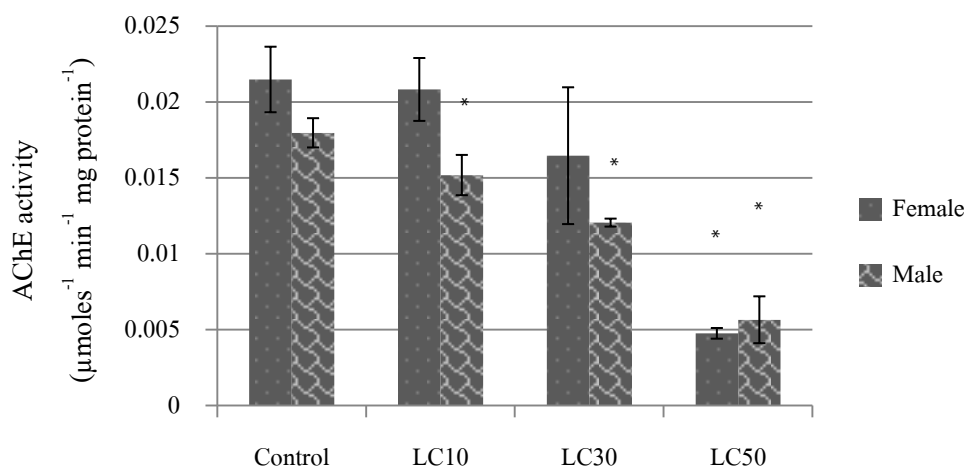
จากการทดสอบแมงมุม *W. fidelis* ด้วยสารคลอร์ไพริฟอสที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ค่า LC_{10} , LC_{30} และ LC_{50} ดังตารางที่ 1 โดยจะสังเกตเห็นว่า แมงมุมเพศเมียจะมีค่า lethal concentration ในทุกๆ dose สูงกว่าแมงมุมเพศผู้

ตารางที่ 1 แสดงค่าความเข้มข้นของสารคลอร์ไพริฟอสที่ได้จากการทดลองเพื่อหาค่า LC_{10} , LC_{30} และค่า LC_{50} จาก Probit analysis

กลุ่มทดสอบ	เพศผู้		เพศเมีย		ปริมาณสารต่อพื้นที่กระดากกรอง ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
	Dose (ppm)	95%CI	Dose (ppm)	95%CI	เพศผู้	เพศเมีย
Control	0	-	0	-	0	0
LC_{10}	0.2	-1.228-0.944	1.9	0.225-2.938	0.003	0.025
LC_{30}	1.1	0.987-2.381	4.0	3.038-4.837	0.014	0.053
LC_{50}	2.8	2.219-3.679	5.5	4.670-6.468	0.037	0.072

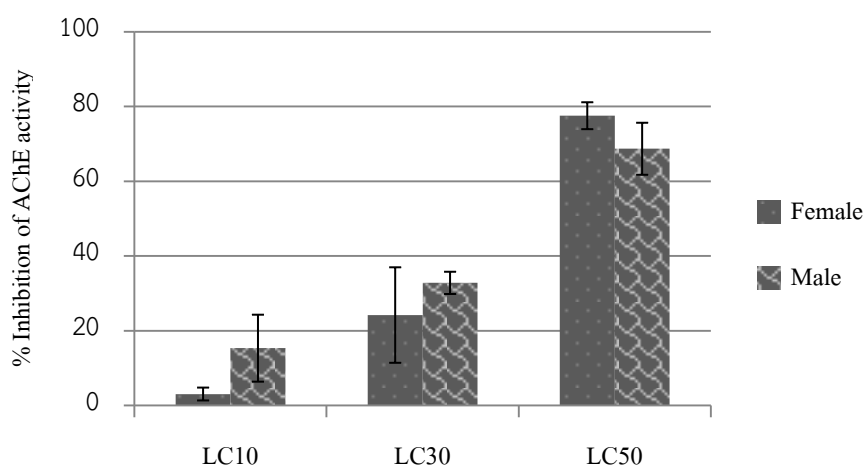
เมื่อวิเคราะห์จากกิจกรรมของเอนไซม์ AChE ในแมงมุมที่ได้สัมผัสกับสารคลอร์ไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (รูปที่ 1) พบว่า กิจกรรมของเอนไซม์ AChE มีความแตกต่างกันทางสถิติ (แมงมุมเพศเมีย $F = 24.486$, $df = 3, 8$, $p < 0.000$, เพศผู้ $F = 65.387$, $df = 3, 8$, $p < 0.000$) ในแมงมุมเพศเมีย กลุ่มที่ถูกทดสอบด้วยสารคลอร์ไพริฟอสที่ระดับความเข้มข้น LC_{50} มีกิจกรรมเอนไซม์ลดลงที่สุด ($0.00478 \pm 0.00035 \mu\text{moles}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mgprotein}^{-1}$) แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($0.0215 \pm 0.0022 \mu\text{moles}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ mgprotein}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.000$) เช่นเดียวกันกับแมงมุมเพศผู้ กิจกรรมเอนไซม์ AChE ในกลุ่ม

ทดสอบที่ระดับ LC_{50} ลดต่ำลงที่สุด ($0.0057 \pm 0.00154 \mu\text{moles}^{-1} \text{min}^{-1} \text{mgprotein}^{-1}$) และทั้ง 3 กลุ่มทดสอบ (LC_{50} , LC_{30} และ LC_{10}) มีระดับกิจกรรมเอนไซม์ AChE แตกต่างจากกลุ่มควบคุม ($0.0180 \pm 0.0010 \mu\text{moles}^{-1} \text{min}^{-1} \text{mgprotein}^{-1}$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



รูปที่ 1 : กราฟแสดงค่าเฉลี่ย (mean±SD) กิจกรรมของเอนไซม์ AChE ในแต่ละกลุ่มทดสอบคือ กลุ่มควบคุม (control), LC_{10} , LC_{30} และ LC_{50} (* คือ กิจกรรมของเอนไซม์ AChE ที่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุมที่ $p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาจาก เปอร์เซ็นต์การถูกยับยั้งปฏิกิริยาเอนไซม์ (รูปที่ 2) พบว่า แมงมุมในกลุ่มที่สัมผัสกับ สารคลอรีไพโรฟอสที่ระดับความเข้มข้น LC_{50} ทั้งเพศผู้และเพศเมีย มีเปอร์เซ็นต์การถูกยับยั้งสูงที่สุด 68.69% และ 77.54% ตามลำดับ ในขณะที่กลุ่ม LC_{30} มีเปอร์เซ็นต์การถูกยับยั้งรองลงมา 32.79±2.89% ในเพศผู้และ 24.18±12.78% ในเพศเมีย ส่วนกลุ่ม LC_{10} พบเปอร์เซ็นต์การถูกยับยั้งต่ำที่สุด (เพศผู้ 15.31±8.96% และ เพศเมีย 3.04±1.72%)



รูปที่ 2 : กราฟแสดงค่าเฉลี่ย (mean±SD) เปอร์เซ็นต์การถูกยับยั้งของเอนไซม์ AChE ในแต่ละกลุ่มทดสอบคือ LC_{10} , LC_{30} และ LC_{50}

สรุปและอภิปรายผล

แมงมุมสุนัขป่าจัดเป็นแมงมุมที่มีความหลากหลายของชนิด และเป็นตัวห้ำที่มีประสิทธิภาพมากในระบบนิเวศเกษตรกรรม แต่การใช้สารกำจัดแมลง หรือวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ ที่ออกฤทธิ์ในวง กว้าง (Broad-spectrum pesticide) เช่น สารกำจัดแมลงคลอรีไพรีฟอส ก็สามารถส่งผลกระทบต่อแมงมุมกลุ่มนี้ได้

จะเห็นได้ว่าแมงมุม *W. fidelis* แม้ได้รับสารคลอรีไพรีฟอสในปริมาณน้อย ก็ทำให้สารชีวโมเลกุลทำงานผิดปกติได้ โดยแมงมุมเพศผู้ที่สัมผัสกับสารคลอรีไพรีฟอสเพียง 0.2 ppm อย่างต่อเนื่อง 48 ชั่วโมง มีผลทำให้การทำงานของเอนไซม์ AChE ถูกยับยั้ง 3.04 % ความเข้มข้นของสารคลอรีไพรีฟอสที่แมงมุมได้รับมีแนวโน้มแปรผันตรงกับเปอร์เซ็นต์การถูกยับยั้งของเอนไซม์ AChE ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการศึกษาของ Van Erp et al., (2002) ในแมงมุมสุนัขป่า *Lycosa hiliaris* การเพิ่มความเข้มข้นของสารกำจัดแมลงคลอรีไพรีฟอส (ยี่ห้อ Losban) สูงขึ้น จะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ AChE ในแมงมุมมากขึ้น

เมื่อเอนไซม์ AChE ถูกยับยั้ง ทำให้สารสื่อประสาท acetylcholine ไม่ถูกสลายให้ออกจากช่อง synaptic cleft ได้ ส่งผลให้เกิดการกระตุ้นสัญญาณประสาทตลอดเวลา และอัตราการส่งกระแสประสาทเกิดการเปลี่ยนแปลง (Yu, 2015) ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อการทำงานของต่อมรับของแมงมุม เมื่อสัญญาณประสาทถูกรบกวนอาจทำให้แมงมุมไม่สามารถดำรงชีวิตตามปกติได้ ในด้วงดิน *Pterostichus oblongopunctatus* ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มสัตว์ขาข้อเหมือนกับแมงมุม เมื่อได้รับสารคลอรีไพรีฟอสในปริมาณน้อย มีผลทำให้อัตราการหายใจลดลง (Bednarska and Kaszowska, 2014) แม้ไม่ใช่กรณีศึกษาในแมงมุมสุนัขป่า แต่ Hanna and Hanna (2012) ก็แสดงให้เห็นว่า แมงมุมตาหกลี้ม (*Oxyopes salticus*) หลังจากถูกทดสอบด้วยสารกำจัดแมลงมาลาไรออน ซึ่งเป็นสารในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตเช่นเดียวกับคลอรีไพรีฟอส ทำให้อายุขัยของแมงมุมสั้นลงอย่างมาก (อายุขัยเฉลี่ย 3.71 ± 1.45 วัน) เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (อายุขัยเฉลี่ย 22.4 ± 6.68 วัน)

เมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องเพศของแมงมุมพบว่า ความสามารถในการทนต่อสารคลอรีไพรีฟอสในแมงมุมเพศเมียสูงกว่าแมงมุมเพศผู้ โดยดูจากผลของ ค่า LC_{50} ของสารคลอรีไพรีฟอสต่อแมงมุม *W. fidelis* ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกันกับการศึกษาผลกระทบของสารกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟตในแมงมุม *L. hiliaris* (Van Erp et al., 2002) และ *L. terrestris* (Mustafa et al., 2011) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโดยส่วนใหญ่แมงมุมเพศเมียมักจะมีขนาดตัวใหญ่กว่าแมงมุมเพศผู้ และมีอายุไขที่ยาวนานกว่า (Foelix, 2011) จากการเก็บข้อมูลน้ำหนักของแมงมุม *W. fidelis* เพิ่มเติมพบว่าเพศเมียตัวเต็มวัยมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0260 ± 0.0068 g ก่อนข้างหนักกว่าเพศผู้ซึ่งมีน้ำหนักโดยเฉลี่ย 0.0198 ± 0.0026 g ดังนั้นหากมีการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อแมงมุม ควรพิจารณาถึงเพศของแมงมุมด้วย

นอกเหนือจากปัจจัยความแตกต่างทางเพศของแมงมุมแล้ว อายุของแมงมุมที่นำมาใช้ทดสอบก็อาจจะส่งผลทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อนได้ แต่การเพาะเลี้ยงแมงมุมขนาดเล็ก (เช่น แมงมุมสุนัขป่า) ให้ครบวงจรชีวิตภายในห้องปฏิบัติการนั้นยังทำได้ยาก เนื่องจากต้องใช้เวลาาน ใช้พื้นที่มาก และยังคงควบคุมปัจจัยต่างๆ ให้เหมาะสม (Whitcomb and Eason, 1965; Hof et al., 1995) ดังนั้นการเลือกจับแมงมุมตัวเต็มวัยจากพื้นที่ธรรมชาติจึงอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นิยมใช้ในการศึกษาในทางพิษวิทยา (Van Erp, 2002; Babczynska et al., 2006; Mustafa et al., 2011; Hanna and Hanna, 2012) แต่ทั้งนี้ก็ยังขึ้นกับปัจจัยทางธรรมชาติต่างๆ เช่น ฤดูกาล และปัจจัยทางกายภาพในแต่ละพื้นที่ที่มีความผันแปร

งานวิจัยนี้พิสูจน์ให้เห็นว่า สารกำจัดแมลงคลอร์ไพริฟอสในปริมาณน้อยทำให้ระบบประสาทของแมงมุมสุนัขป่า *W. fidelis* ทำงานผิดปกติ และน่าจะเป็นอุปสรรคต่อพฤติกรรมล่าแมลงในระบบนิเวศเกษตรกรรมที่มีการใช้สารกำจัดแมลงดังกล่าว

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2555. “ปริมาณการนำเข้าสารศัตรูพืช”. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กรุงเทพฯ.
- Babczyńska, A., G. Wilczek and P. Migula. 2006. "Effects of dimethoate on spiders from metal pollution gradient." **Science of the Total Environment** 370: 352-359
- Bednarska, A. J. and Kaszowska, J. (2014). "Combined effect of nickel and chlorpyrifos on the ground beetle *Pterostichus oblongopunctatus*." **Ecotoxicology and Environmental Safety** 108, 242-248.
- Chaiyawat, P. and P. Chan-uthai. 2001. "Roles of Tetragnatha and Lycosa spider in population regulation of brown plant hopper in deepwater rice ecosystem". Bangkok: Department of Agriculture, Rice Research Institute: 233-237
- Christensen, K., B. Harper, B. Luukinen, K. Buhl and D. Stone. 2006. "Chlorpyrifos technical fact sheet". National Pesticide Information Center, Oregon State University Extension Services
- Eaton, D. L., Daroff, R. B., Autrup, H., Bridges, J., Buffler, P., Costa, L. G., Coyle, J., McKhann, G., Mobley, W. C., Nadel, L., Neubert, D., Schulte-Hermann, R. and Spencer, P. S. (2008). "Review of the toxicology of chlorpyrifos with an emphasis on human exposure and neurodevelopment." **Critical Reviews in Toxicology** 38, 1-125.
- Ellman, G. L., K. D. Courtney, V. Andres Jr. and R. M. Featherstone. 1961. "A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity." **Biochemical Pharmacology** 7, 2: 88-90
- Foelix, R. 2011. **Biology of spiders**. (3rd ed). New York: Oxford University Press.
- Hanna, C. and C. Hanna. 2013. "The lethal and sublethal effects of three pesticides on the striped lynx spider (*Oxyopes salticus* Hentz)." **Journal of Applied Entomology** 137: 68-76
- Hawkins, B. A., N. J. Mills, M. A. Jervis and P. W. Price. 1999. "Is the biological control of insects a natural phenomenon?" **OIKOS** 86: 493-450
- Heong, K. L., S. Bleih and E. G. Rubia. 1990. "Prey preference of the wolf spider, *Pardosa pseudoannulata* (Boesenberg et Strand)." **Researches on Population Ecology** 33, 2: 179-186
- Hodge, S. and C. J. Vink. 2000. "An evaluation of *Lycosa hilaris* as a bioindicator of organophosphate insecticide contamination." In Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference. Rotorua. New Zealand Plant Protection Society. 226-229
- Hof, A., D. Heimann and J. Römbke. 1995. "Further development for testing the effects of pesticides on wolf spiders." **Ecotoxicology and Environmental Safety** 31, 3: 264-270

- Kronstedt, T. and A. A. Zyuzin. 2009. "Fixation of *Lycosa fidelis* O. Pickard-Cambridge, 1872 as the type species for the genus "Wadicosa Zyuzin, 1985 (Araneae: Lycosidae), with a redescription of the species." **Contributions to Natural History** 12, 2: 813–828
- Lowry, O. H., N. J. Rosebrough, A. L. Farr and R. J. Randall. 1951. "Protein measurement with the folin phenol reagent." **The Journal of Biological Chemistry** 193, 1: 265-275
- Mustafa, A., A. Butt, H. M. Tahir and M. Bilal. 2011. "Susceptibility of wolf spider, *Lycosa terrestris* (Araneae: Lycosidae) to chlorpyrifos." **Pakistan Journal of Zoology** 43, 2: 403-405
- Tietjen, W. J. 2006. "Pesticides affect the mating behavior of *Rabidosia rabida* (Araneae, Lycosidae)." **Journal of Arachnology** 34, 2: 285-288
- Van Erp, S., L. Booth, R. Gooneratne and K. O'Halloran. 2002. "Sublethal responses of wolf spiders (Lycosidae) to organophosphorous insecticides." **Environmental Toxicology** 17, 5: 449-456
- Whitcomb, W. H. and R. Eason. 1965. "The rearing of wolf and lynx spiders in the laboratory (families Lycosidae and Oxyopidae : Araneida." In Arkansas Academy of Science Proceedings 19: 21-27
- Yu, S. J. 2015. **The toxicology and biochemistry of insecticides**. (2nd ed). New York: CRC Press.

การศึกษาคุณสมบัติบางประการของเอนไซม์โปรติเอสจากใบมะรุม
PARTIAL CHARACTERIZATION OF PROTEASE DERIVED FROM
MORINGA OLEIFERA LEAF

ครองศักดิ์ ภัคชนนุก

สาขาวิชาเทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

E-mail: kongsakda@mcru.mail.go.th

บทคัดย่อ

มะรุม (*Moringa Oleifera*) เป็นไม้ยืนต้นและสมุนไพรที่มีคุณค่าทางโภชนาการด้านโปรตีนสูง มีรายงานว่าโปรตีนในใบมะรุมสามารถจำแนกเป็นโปรตีนได้หลายชนิด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะบางประการของโปรตีนในใบมะรุมโดยมุ่งเป้าศึกษาคุณสมบัติทางเอนไซม์โปรติเอส ผลการศึกษาพบว่าใบมะรุมแห้งมีปริมาณโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 17-28 โดยในฤดูฝนสามารถตรวจพบปริมาณโปรตีนสะสมในใบได้สูงที่สุด ขณะเดียวกันตรวจพบว่าเอนไซม์โปรติเอสในใบมะรุมซึ่งมีค่ากิจกรรมสูงที่สุดเท่ากับ 341 U/g โดยโปรติเอสนี้สามารถแยกออกมาได้จากการตกตะกอนด้วยเอทานอลความเข้มข้นสุดท้ายร้อยละ 50 โดย โปรติเอสที่แยกได้นี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 46 kDa

คำสำคัญ : สมุนไพร มะรุม ไม้ยืนต้น เอนไซม์โปรติเอส โปรตีน

ABSTRACT

Moringa Oleifera is a nutritious perennial and herb that has high content of protein. Previous research reported that the protein inside *Moringa Oleifera* can divided to several types. The objective of this research was to study partial characterization of protein derived from *Moringa Oleifera* leaf in terms of their protease properties. The results showed that the dried leaves have a high protein content of about 17-28 percent. It was found that protein accumulation in leaves has the highest in the rainy season. The protease activity was detected in these leaves, by presenting the highest activity about 341 U / g. This protease can be isolated by precipitation with final concentration of 50% v/v ethanol. The isolated protease also has molecular mass of 46 kDa.

KEY WORDS: Herb, *Moringa Oleifera*, Perennial, Protease, Protein

บทนำ

มะรุม (*Moringa Oleifera*) เป็นทั้งสมุนไพรและไม้ยืนต้น พบมากในประเทศเขตร้อน ปลูกง่าย ทนแล้ง โตเร็ว และเจริญเติบโตได้ดีกับดินทุกชนิด ทุกส่วนของมะรุมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยเฉพาะในส่วนใบ และเมล็ดซึ่งพบว่ามีสารอาหารและสารสำคัญที่เป็นประโยชน์ทางโภชนาการและการแพทย์ ในน้ำหนักที่เท่ากัน นั้นใบมะรุมมีแคลเซียมมากกว่านม 4 เท่า มีวิตามินซีมากกว่าส้ม 7 เท่า มีโพแทสเซียมมากกว่ากล้วย 3 เท่า และยังพบว่ามีโปรตีนมากกว่านมอีก 2 เท่า ใบมะรุมมีสารสำคัญทางพฤกษเคมีหลายชนิดได้แก่ แทนนิน ฟีนอล ฟลาโวนอยด์ แคโรทีนอยด์ กลูโคซิโนเลตส์ และไอโซไทโอไซยานด์ ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนมีประโยชน์สำหรับต้านทานโรค อาทิ มะเร็ง ลดความดันโลหิต และต่อต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น

ด้วยข้อมูลทางโภชนาการรายงานว่าใบมะรุมมีปริมาณโปรตีนสูง จึงมีงานวิจัยที่สนใจศึกษาการนำโปรตีนจากใบมะรุมไปใช้ประโยชน์ในหลายๆด้าน มีการศึกษาการนำโปรตีนใบมะรุม (ใบมะรุมผง) ไปใช้เสริมในสูตรของการผลิตขนมปัง (แสงฉาย และคณะ, 2553) และพบว่าโปรตีนในใบมะรุมส่งผลให้ความแน่นเนื้อ (firmness) ของขนมปังมีมากขึ้น ขณะที่การผสมโปรตีนใบมะรุมร้อยละ 2.5 ทำให้โปรตีนในขนมปังมีมากถึง 30 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ซึ่งสูงกว่าขนมปังปกติแต่ไม่ได้ส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค กลับส่งผลดีต่อผู้บริโภคมากขึ้นโดยทำให้คุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง โดยเฉพาะวิตามินซีและแคลเซียมสูงกว่าขนมปังในท้องตลาด โดยมีปริมาณมากถึง 15.06 และ 1903.03 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตามลำดับ

งานวิจัยล่าสุดได้มีการศึกษาบ่งชี้โปรตีนในใบมะรุมและพบว่า โปรตีนในใบมะรุมประกอบไปด้วยโปรตีน Globulin ประมาณร้อยละ 1.44 Albumin ร้อยละ 10.08 Glutelin ร้อยละ 11.11 Prolamin ร้อยละ 6.95 และโปรตีนชนิดอื่นๆที่ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้อีกประมาณ 226.01 มิลลิกรัมใน 100 กรัม (Teixeira *et al.*, 2014)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาโปรตีนชนิดอื่นนอกเหนือจากที่เคยมีรายงานเอาไว้ โดยตั้งสมมุติฐานว่าน่าจะมีเอนไซม์โปรติเอสเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของโปรตีนที่มีสะสมอยู่ในส่วนใบ เนื่องจากเคยมีรายงานก่อนหน้านี้ว่าสามารถพบโปรติเอสในพืชชนิดอื่นที่เป็นพืชโปรตีนสูงมาบ้างแล้ว ตัวอย่างเช่น Bromelain ในสับปะรด (Ali *et al.*, 2015) Actinidain ในผลกีวี Ficin ในผลมะเดื่อ และ Zingibain ในขิง ผลการศึกษาที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงการค้นพบเอนไซม์โปรติเอสในใบมะรุม องค์ความรู้เกี่ยวกับลักษณะของโปรติเอสที่พบในใบมะรุมจะเป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาเป็นนวัตกรรมต่างๆที่เพิ่มมูลค่าอาทิผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เครื่องสำอาง ยาและเวชภัณฑ์ และอาหารสัตว์ต่อไปได้ในอนาคต

วิธีดำเนินการทดลอง

1. การสกัดโปรตีนจากใบมะรุม

เก็บใบมะรุมสีเขียวจากต้นมะรุมเพียงต้นเดียวที่อายุ 2 ปีในพื้นที่ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี ทุกๆกลางเดือน โดยเก็บให้ได้ครั้งละไม่น้อยกว่า 500 กรัม ส่วนสดให้ล้างด้วยน้ำยาล้างจานเล็กน้อยตามด้วย 1% NaCl และน้ำกลั่นจนสะอาดแยกใบสดมา 100 กรัมบดผสมด้วย 0.1 M Tris-HCl buffer pH 8.0 70 มิลลิลิตร 0.05 M KCl 10 มิลลิลิตร และ 0.05 CaCl₂ 10 มิลลิลิตร ด้วยเครื่องปั่นบดจนละเอียด จากนั้นนำส่วนบดผสมไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ส่วนแห้งให้นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำใบแห้งจำนวน 100 กรัมไปบดผสมด้วย buffer ตามวิธีส่วนสด นำ

สารละลายบดผสมนี้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกส่วนใส่ออกมาเพื่อตกตะกอนโปรตีน

2. การตกตะกอนโปรตีน

ใช้วิธีการตกตะกอนด้วยเอทานอลตามวิธีของ Martins *et al.* (2014) นำส่วนใสมาผสมกับเอทานอล 95% ที่แช่เย็นจนอุณหภูมิเย็นไม่เกิน 4 องศาเซลเซียส ในสัดส่วน 3 ระดับได้แก่เอทานอล:ส่วนใส 30:70 50:50 และ 70:30 ทำการกวนด้วยแท่งแก้วต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยแยกตะกอนโปรตีนออกมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ Smith *et al.* (1985) เตรียมสารละลายโปรตีนโดยนำตะกอนโปรตีนจากข้อ 4.2 มาละลายด้วย 0.1 M Tris-HCl buffer pH 8.0 เล็กน้อยจนพอละลายเป็นเนื้อเดียวกันจากนั้นปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสออกมาวิเคราะห์ ซึ่งการวัดปริมาณโปรตีนจะใช้ชุดวิเคราะห์สำเร็จรูป Bicinchoninic acid kit ของ sigma โดยใช้ Bovine Serum Albumin เป็น โปรตีนมาตรฐาน

4. การวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลของโปรตีน

วิเคราะห์มวลโมเลกุลของโปรตีนในตัวอย่างโดยเทคนิค SDS-PAGE ตามวิธี Laemmli (1970) โดยเตรียม 5% stacking gel และ 12% running gel ด้วยกระแสไฟฟ้า 30mA เวลา 1.5 ชั่วโมง

5. การวิเคราะห์กิจกรรมโปรตีนเอส

เตรียมสารละลายสับสเตรทและขั้นตอนการวิเคราะห์ตามวิธี Oliveira *et al.* (2006) โดยเตรียม 1% Azocasein ละลายใน 4% เอทานอล ที่ผสม 0.1 M Tris-HCl buffer pH 8.0 เป็นสับสเตรท ผสมสารละลายโปรตีนในข้อ 4.3 ปริมาตร 125 ไมโครลิตรเข้ากับสารละลายสับสเตรท 125 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส 10 นาที หยุดปฏิกิริยาด้วย 5% กรดไตรคลอโรอะซิติก (TCA) 750 ไมโครลิตร จากนั้นปั่นเหวี่ยงแยกส่วนใสออกมาวิเคราะห์ค่ากิจกรรมโปรตีนเอส

ผลการทดลอง

1. การศึกษาปริมาณโปรตีนในใบมะรุม

การศึกษาโปรตีนในใบมะรุมมีเป้าหมายที่จะศึกษาความแปรปรวนของปริมาณโปรตีนที่มีสะสมในใบมะรุมตามการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาล ผลการทดลองวัดค่าปริมาณโปรตีน (ตารางที่ 1) ในแต่ละเดือนของรอบปีพบว่า ใบมะรุมสด 100 กรัมมีปริมาณโปรตีนสะสมประมาณ 4-8 กรัม โดยมีปริมาณแปรผันไปแต่ละเดือน เป็นที่น่าสังเกตว่าช่วงฤดูหนาวจะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าช่วงอื่น ขณะที่ช่วงฤดูฝนตกชุก (มิถุนายนและกรกฎาคม) มีปริมาณโปรตีนมากที่สุดประมาณ 8 กรัม ขณะเดียวกันใบมะรุมแห้งที่น้ำหนัก 100 กรัม ผลการวิเคราะห์ก็กลับพบว่าสามารถวัดปริมาณโปรตีนสะสมได้มากกว่าในใบมะรุมสดประมาณ 3 เท่า โดยพบว่าเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ใบมะรุมแห้งมีโปรตีนสะสมมากที่สุดคือประมาณ 28 กรัม ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนที่วัดได้จากการทดลองนี้มีค่าที่สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ (สนามชัย และคณะ, 2555) ซึ่งได้รายงานปริมาณโปรตีนสะสมในใบมะรุมแห้งซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 27.06

ผลของปริมาณโปรตีนนี้ชี้ว่าภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมสามารถนำโปรตีนในใบมะรุมไปใช้ประโยชน์ได้ตลอดทั้งปี โดยหากสามารถเตรียมใบมะรุมให้แห้งได้ก่อนก็จะทำให้สามารถสกัดแยกโปรตีนออกมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่า

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าปริมาณโปรตีนในใบมะรุมสดและแห้งด้วยวิธี BCA Method

เดือน ปี	ปริมาณโปรตีน (กรัม/100 กรัม)	
	ใบสด	ใบแห้ง
มิถุนายน 2557	8.2 ± 0.23	28.1± 0.19
กรกฎาคม 2557	8.5± 0.11	28.2± 0.08
สิงหาคม 2557	4.5± 0.03	20.2± 0.01
กันยายน 2557	3.0± 0.01	20.6± 0.01
ตุลาคม 2557	4.3± 0.10	18.8± 0.08
พฤศจิกายน 2557	5.5± 0.45	19.6± 0.02
ธันวาคม 2557	4.8± 0.62	19.8± 0.45
มกราคม 2558	5.2± 0.34	18.8± 0.65
กุมภาพันธ์ 2558	4.8± 0.21	17.3± 0.38
มีนาคม 2558	5.8± 0.22	18.4± 0.19
เมษายน 2558	6.2± 0.19	19.8± 0.19
พฤษภาคม 2558	6.6± 0.47	17.9± 0.30

ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองจำนวนสามซ้ำ

2. การศึกษาลักษณะของโปรตีนในใบมะรุม

การสกัดโปรตีนโดยการบดใบมะรุมแห้งผสมด้วยสารละลาย buffer จนกลายเป็นสารละลายโปรตีนหยาบ (crude) แล้วนำมาตกตะกอนโปรตีนด้วยเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ ผลการทดลองในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการตกตะกอนโดยใช้เอทานอล 50 และ 70 ส่วนสามารถแยกโปรตีนออกมาได้มากถึงร้อยละ 66.0 และ 84.2 ตามลำดับ ขณะที่การวัดค่ากิจกรรมโปรตีนกลับพบว่าที่อัตราส่วนเอทานอล 50 มีค่ากิจกรรมโปรตีนสูงที่สุดเท่ากับ 341.5 U/g แม้ว่าที่อัตราส่วนเอทานอล 70 จะสกัดโปรตีนได้มากกว่าแต่กลับมีค่ากิจกรรมโปรตีนน้อยกว่า หากพิจารณาจะเห็นว่าการสกัดด้วยอัตราส่วนเอทานอล 50 มีค่ากิจกรรมโปรตีนสูงกว่า crude (crude คืออัตราส่วนเอทานอล 0) สาเหตุอาจเนื่องมาจากใน crude อาจมีสารอย่างอื่นแขวนลอยอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งสามารถเข้าขัดขวางการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์โปรตีนได้ ขณะที่อัตราส่วนเอทานอล 50 สามารถแยกโมเลกุลโปรตีนออกมาให้บริสุทธิ์มากกว่า crude จึงทำให้การเร่งปฏิกิริยาเป็นไปในทางที่ดีกว่า ทั้งนี้การทดลองพบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนเอทานอล 70 สารละลายโปรตีนที่แยกได้กลับมีลักษณะทำให้ละลายกลับด้วย buffer ยากขึ้น สารละลายมีความข้นและมีตะกอนมากกว่า crude และยังพบว่ามีการแสดงพฤติกรรมหนืดปรากฏขึ้น ซึ่งเป็น

ลักษณะของสารชีวโมเลกุลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ตกตะกอนลงมา สอดคล้องกับการทดลองสกัดสารสำคัญออกจากเซลล์พืชด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ดังรายงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้ (Martins *et al.*, 2014)

ตารางที่ 2 ปริมาณโปรตีนในใบมะรุเมแห้งจากการสกัดด้วยเอทานอลและกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส

Ethanol : Crude	Protein Content (g/100 ml)	Protein Recovery (%)	Protease Activity (U/ml)	Specific Activity (U/g)	Appearance
0 : 100	21.5	100	19.6	91.2	**
30 : 70	7.4	34.4	5.0	67.0	***
50 : 50	14.2	66.0	48.5	341.5	***
70 : 30	18.1	84.2	26.2	144.8	*

* การละลายไม่สมบูรณ์ ขุ่น มีตะกอน

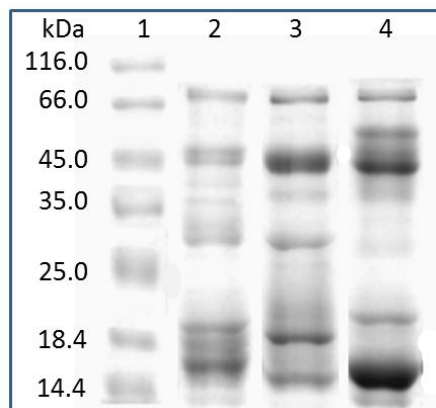
** การละลายไม่สมบูรณ์ ขุ่นเล็กน้อย มีตะกอนเล็กน้อย

*** การละลายสมบูรณ์ใส ไม่มีตะกอน

การศึกษาลักษณะโปรตีนในใบมะรุเมเป็นไปตามสมมุติฐาน โปรตีนที่สนใจศึกษาในใบมะรุเมพบว่ามีอย่างน้อยมีคุณสมบัติเป็นเอนไซม์โปรติเอสแน่นอน โดยในใบมะรุเมที่นำมาศึกษานี้มีค่ากิจกรรมโปรติเอสเฉพาะสูงสุดเท่ากับ 341.5 U/g ซึ่งค่ากิจกรรมนี้สูงใกล้เคียงกับโปรติเอสทางการค้าชนิดอื่น อาทิ Bromelain ในสับปะรด (Ali *et al.*, 2015) Actinidain ในผลกีวี Ficin ในผลไม้ และ Zingibain ในขิง ซึ่งโปรติเอสการค้าเหล่านี้มีค่ากิจกรรมอยู่ที่ประมาณ 300-1,000 U/g (Ha *et al.*, 2012)

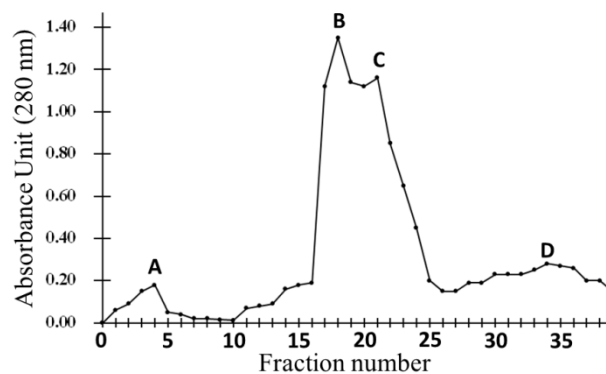
3. ลักษณะเฉพาะทางเอนไซม์ของโปรติเอสในใบมะรุเม

การศึกษานาโมเลกุลของโปรตีนที่แยกได้จากอัตราส่วนเอทานอลทั้งสามระดับด้วยวิธี SDS-PAGE ตามภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า โปรตีนในใบมะรุเมที่สกัดออกมามีขนาดโมเลกุลหลากหลายขนาดตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 10 kDa ไปจนถึงขนาด 80 kDa ในเลนที่ 3 ซึ่งพบว่ามีค่ากิจกรรมโปรติเอสสูงที่สุดได้แสดงแถบสีที่เข้มที่สุดจำนวน 4 ตำแหน่งได้แก่ขนาด 80, 46, 30 และ 19 kDa ขณะที่เลนที่ 4 ซึ่งได้แสดงแถบสีที่เข้มที่สุดจำนวน 4 ขนาดได้แก่ 80, 52, 46 และ 21 kDa โดยพบว่าเลนที่ 4 นี้มีโปรตีนขนาดเล็กกว่า 14.4 kDa มาก ซึ่งก็คือเพปไทด์ขนาดเล็กที่ตกตะกอนลงมารวมทั้งเพปไทด์ที่เป็นผลมาจากการย่อยสลายตัวเองของโปรติเอส



ภาพที่ 1 SDS-PAGE แสดงขนาดโมเลกุลของโปรตีนที่สกัดจากอัตราส่วนเอทานอล 30 (เลนที่ 2) เอทานอล 50 (เลนที่ 3) และเอทานอล 70 (เลนที่ 4) โดยมีมวลโมเลกุลโปรตีนมาตรฐานกำกับไว้จำนวน 7 ขนาด (เลนที่ 1)

เมื่อนำสารละลายโปรตีนจากการตกตะกอนด้วยอัตราส่วนเอทานอล 50 มาแยกขนาดออกจากกันโดยอาศัยเทคนิค Gel filtration ด้วยวัสดุแยก Sephadex-G100 ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งโปรตีนสามารถถูกแยกออกจากกันได้ 4 พีก ได้แก่ช่วง fraction ที่ 4 (A) ช่วง fraction ที่ 19 (B) ช่วง fraction ที่ 22 (C) และช่วง fraction ที่ 34 (D) และเมื่อนำโปรตีนที่ถูกชะออกมาแต่ละพีกนี้ไปวิเคราะห์ค่ากิจกรรมโปรตีนเอสก็พบว่า พีก B และ C มีค่ากิจกรรมโปรตีนเอส ขณะที่พีก A และ B ไม่พบว่ามีค่ากิจกรรมโปรตีนเอส (ตารางที่ 3)



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการแยกโปรตีนในโบลัมมด้วยเทคนิค Gel filtration โดยใช้ Sephadex-G100 ซึ่งได้ทำการสกัดจากอัตราส่วนเอทานอล 50 โดยเก็บโปรตีนที่ถูกชะจำนวนทั้งหมด 40 fraction ปริมาตร fraction ละ 1 มิลลิลิตร ภายใต้สภาวะความเร็ว 5 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส พีกของโปรตีนที่แยกออกจากกันปรากฏให้เห็นจำนวน 4 พีก ได้แก่ช่วง fraction ที่ 4 (A) ช่วง fraction ที่ 19 (B) ช่วง fraction ที่ 22 (C) และช่วง fraction ที่ 34 (D)

ตารางที่ 3 กิจกรรมโปรตีนจากโปรตีนที่สกัดจากอัตราส่วนเอทานอล 50 ซึ่งถูกชะออกมาจาก Gel filtration

Peak	Fraction Number	Protease Activity (U/ml)
A	4	0
B	19	2.6
C	22	2.2
D	34	0

ซึ่งผลการทดลองนี้ชี้ว่าขนาดโปรตีนในพีค A ซึ่งมีขนาดใหญ่มากได้ถูกชะออกมาก่อน และโปรตีนในพีค D ซึ่งมีขนาดเล็กมากได้ถูกชะออกมาเป็นลำดับสุดท้าย ดังนั้นผลการวิเคราะห์ขนาดโมเลกุลด้วยวิธี SDS-PAGE ประกอบกับผลการแยกขนาดโปรตีนออกจากกันด้วยเทคนิค Gel filtration และรวมถึงรายงานเกี่ยวกับการค้นพบโปรตีนจากพืชชนิดต่างๆ (Kumari et al., 2012; Amid et al., 2012; Tripathi et al., 2011) การทดลองนี้จึงเชื่อได้ว่าโปรตีนที่ตรวจพบได้ในอัตราส่วนเอทานอล 30, 50 และ 70 นี้ น่าจะเป็นโปรตีนที่มีขนาดโมเลกุล 46 kDa

สรุปผลการวิจัย

มะรุมมีปริมาณโปรตีนสะสมอยู่ในใบประมาณร้อยละ 17-28 โดยปริมาณโปรตีนแปรผันต่างกันไปในแต่ละเดือน เฉพาะในช่วงฤดูฝนจะมีโปรตีนสะสมอยู่มากที่สุด การเตรียมใบมะรุมให้แห้งก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมจะให้ปริมาณโปรตีนมากกว่าชนิดใบสดประมาณ 3 เท่า ภาคอุตสาหกรรมสามารถสกัดโปรตีน (crude) ไปใช้ประโยชน์เฉพาะด้านได้โดยใช้เทคนิคการแยกอย่างง่ายด้วยเอทานอลในอัตราส่วนเอทานอลต่อสารละลายโปรตีนเท่ากับ 50:50 หรือ 70:30 และยังคงพบอีกว่าโปรตีนบางส่วนในใบมะรุมนี้มีคุณสมบัติเป็นเอนไซม์โปรตีนเอส ซึ่งสามารถแยกออกมาใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้ โดยควรใช้อัตราส่วนเอทานอลต่อสารละลายโปรตีนเท่ากับ 50:50 และคัดกรองขนาดโมเลกุลด้วยเทคนิค Gel filtration โดยโปรตีนที่ค้นพบและแยกออกมาได้นั้นนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 46 kDa

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยภายใต้แผนงานของโครงการวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพกลุ่มความมั่นคงทางอาหาร ประจำปีงบประมาณ 2558 แห่งสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ)

เอกสารอ้างอิง

สนามชัย แพนดิ, ไพโชค ปัญจะ และครุณี ศรีชนะ. 2555. การวิเคราะห์หาปริมาณสารอาหารในใบมะรุม. การ

ประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

อรรถพร แสงฉาย, กัญญา กาวิระ และกุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2553. ผลของการเสริมใบมะรุมต่อคุณภาพของขนม

ปิง. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร (พิเศษ). 41(3/1) 349-352.

- Ali, A.A., Milala, M.A. and Gulani, I.A. 2015. Antimicrobial effects of crude bromelain extracted from
- Amid, M., Shuhaimi, M., Sarker, M.d.Z.I. and Manap, M.Y.A. 2012. Purification of serine protease from
- Ha, M., Bekht, A.E.A., Carne, A. and Hopkins, D.L. 2012. Characterization of commercial papain, bromelain, actinidain and zingibain protease preparations and their activities toward meat proteins. **Food Chemistry**. 134: 95-105.
- Kumari, M., Sharma, A. and Jagannadham, M.V. 2012. Religiosin B, a milk-clotting serine protease from *Ficus religiosa*. **Food Chemistry**. 131: 1295-1303.
- Laemmli, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**. 227: 680-685.
- mango (*Mangifera Indica* Cv. *Chokanan*) peel using an alcohol/salt aqueous two phase system. **Food Chemistry**. 132: 1382-1386.
- Martins, B.C., Rescolino, R. Coelho, D.F., Zanchetta, B., Tambourgi, E.B. and Sileira, E. 2014. Characterization of Bromelain from *Ananas Comosus* Agroindustrial Residues purified by ethanol fractional precipitation. **Chemical Engineering Transactions**. 37: 781-786.
- Oliveira, L.A., A.L.F. Porto and E.B. Tambourgi. 2006. Production of xylanase and protease by *Penicillium janthinellum* CRC 87M-115 from different agricultural wastes. **Bioresource Technology**. 97: 862-867.
- pineapple fruit (*Ananas comosus* (Linn.) Merr.). **Advances in Biochemistry**. 3(1): 1-4.
- Smith, P.K., Krohn, R.I., Hermanson, G.T., Malilia, A.K., Gartner, F.H., Provenzano, M.D., Fujimoto, E.K., Goeke, N.M., Olson. B.K. and Klenk, D.C. 1985. Measurement of protein using bicinchoninic acid. **Analytical Biochemistry**. 150(1): 76-85.
- Teixeira, E.M.B., Carvalho, M.R.B., Neves, A.V., Silva, M.A. and Arantes-Pereira, L. 2014. Chemical characteristics and fractionation of proteins from *Moringa oleifera* Lam. Leaves. **Food Chemistry**. 147: 51-54.
- Tripathi, P., Tomar, R. and Jagannadham, M.V. 2011. Purification and biochemical characterization of a novel protease streblin. **Food Chemistry**. 125: 1005-1012.

**ประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนทางชีวภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ
INTEGRATED FIXED FILM ACTIVATED SLUDGE (IFAS) ที่มีการติดตั้ง
ตัวกลางในถังปฏิกริยาแอนน็อกซิกหรือถังปฏิกริยาเติมอากาศ
BIOLOGICAL NITROGEN REMOVAL EFFICIENCIES OF INTEGRATED
FIXED FILM ACTIVATED SLUDGE (IFAS) INSTALLED WITH MEDIA IN
ANOXIC OR AEROBIC REACTOR**

นิภาวรรณ กลิ่นหอม

ธงชัย ศรีวิริรัตน์

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

ศูนย์ความเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม พืชวิทยาและการบริหารจัดการสารเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี

E-mail: nipawank@eng.buu.ac.th

E-mail: sriwiri@buu.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชนของระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ IFAS ที่มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® ในถังปฏิกริยาแอนน็อกซิก และระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ที่ติดตั้งตัวกลางชนิดเดียวกันในถังปฏิกริยาเติมอากาศ การทดลองดำเนินการในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS จำนวน 2 ระบบ ที่อายุสัปดาห์ 9 วัน และมีระยะเวลาเก็บเก็บทางผลศาสตร์ 9 ชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่าระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนได้ 95.2% และ 100% ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบการสะสมของไนโตรเจนในถังปฏิกริยาเติมอากาศของระบบ IFAS ที่ไม่มีตัวกลางในถังปฏิกริยาเติมอากาศ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงประมาณ 28 ± 2 °C ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. ที่ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนโตรเจนเป็นไนเตรตในถังปฏิกริยาเติมอากาศ ขณะที่ระบบ IFAS ที่มีการติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกริยาเติมอากาศสามารถออกซิไดซ์ไนโตรเจนเป็นไนเตรตในถังปฏิกริยาเติมอากาศได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. เพิ่มขึ้นในชั้นไบโอฟิล์ม ส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของระบบที่มีการติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกริยาแอนน็อกซิกสูงกว่าระบบที่มีการติดตั้งตัวกลางชนิดเดียวกันในถังปฏิกริยาเติมอากาศ ดังนั้น สรุปได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ที่มีการติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกริยาเติมอากาศมีประสิทธิภาพการ

กำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนทางชีวภาพได้ดีกว่าระบบ IFAS ที่มีการติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกรณ์แอนอ็อกซิกเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: Bioweb® IFAS การกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนทางชีวภาพ ดีไนตริฟิเคชัน ไนตริฟิเคชัน

ABSTRACT

This objective of this research was to compare the nitrogen removal efficiencies of IFAS wastewater treatment processes integrated with fixed film media of Bioweb® in either anoxic or aerobic bioreactor. The experiments were conducted by using two IFAS systems operated with a sludge age of 9 days and hydraulic retention time (HRT) of 9 hours. The experimental results revealed that both IFAS systems could achieve the organic and ammonium nitrogen removal efficiencies of 95.2% and 100%, respectively. However, the nitrite accumulation was found in the IFAS system without any media installed in the aerobic reactor because the growth rate of *Nitrobacter* spp. was limited at the high operating temperature of 28 ± 2 °C. In contrast, the IFAS with fixed film media installed in the aerobic tank could complete nitrification without the significant accumulation of nitrite nitrogen as a result of supplemented amount of *Nitrobacter* spp. in biofilm layer. The nitrite accumulation was resulted in higher total nitrogen in the effluent. In conclusion, the IFAS system with media installed in the aerobic reactor provided better performances than the IFAS system with fixed film media installed only in the anoxic zone.

KEYWORDS: Biological Nitrogen Removal, Bioweb®, Denitrification, IFAS, Nitrification

1. บทนำ

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมประจำวันและการประกอบอาชีพต่างๆ ของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชนและอาคารประเภทต่างๆ มักมีองค์ประกอบของธาตุอาหารที่สำคัญ ได้แก่ ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ซึ่งหากมิได้มีการกำจัดธาตุอาหารเหล่านี้ให้เหมาะสมและสมบูรณ์แล้วปล่อยลงสู่แหล่งน้ำปิด อาจก่อให้เกิดปัญหายูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ทั้งนี้ ตามประกาศของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมปี 2553 กำหนดว่า น้ำทิ้งที่ระบายออกจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชนต้องมีไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen) น้อยกว่า 20 mg/L และมีฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus) น้อยกว่า 2 mg/L อย่างไรก็ตาม ระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป เช่น ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge Process) สามารถกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น จึงมีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่มีประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารเพิ่มสูงขึ้น ระบบบำบัดน้ำเสีย Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ผสมผสานระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในน้ำเสียและระบบไบโอฟิล์มที่มีจุลินทรีย์ยึดเกาะติดอยู่กับผิวของตัวกลาง (Media) จุลินทรีย์บนผิวของตัวกลางช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการเพิ่มอายุสลัดจ์ในระบบโดยไม่เพิ่มภาระของแข็ง (Solid Loading) กับถังตกตะกอนที่ไม่ได้ถูก

ออกแบบมาเพื่อรองรับปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้น การที่มีจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นในระบบทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารสูงขึ้น ระบบ IFAS เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพที่ได้รับความนิยมมากขึ้นและมีการนำมาประยุกต์ใช้ในการกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในเวลาเดียวกัน (Su and Ouyang, 1996; Azimi et al., 2007) อนึ่ง การกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนทางชีวภาพนั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นพร้อมกัน สำหรับระบบ IFAS มักมีการติดตั้งตัวกลางลงในถังปฏิกรณ์เติมอากาศเพียงอย่างเดียว ทำให้ไม่สามารถเพิ่มศักยภาพของระบบสำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชันได้ สมมติฐานที่น่าสนใจสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IFAS คือ ระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการเติมตัวกลางลงในถังปฏิกรณ์แอนน็อกซิกเพียงอย่างเดียวจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนเตรทไนโตรเจนได้ด้วยกระบวนการดีไนตริฟิเคชันซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับระบบที่มีการเติมตัวกลางลงในถังเติมอากาศเพียงอย่างเดียวที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์และแอมโมเนียในไนโตรเจนด้วยการเติมอากาศ วิธีการใดมีประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนและสารอินทรีย์สุทธิได้สูงกว่า

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS ที่มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® ในถังปฏิกรณ์แอนน็อกซิกกับระบบที่มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® ในถังปฏิกรณ์เติมอากาศ

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการดำเนินวิจัย

2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และเชื้อจุลินทรีย์

น้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นใหม่ทุกวันจากสารเคมี ได้แก่ Sucrose, CH_3COONa , K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , NaHCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ NH_4Cl โดยทำการละลายสารเคมีเหล่านี้ในน้ำประปาให้ได้ปริมาตร 220 ลิตรต่อวัน น้ำเสียที่เตรียมใหม่ถูกกักเก็บไว้ 1 วัน ก่อนป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อทำการปรับอุณหภูมิของน้ำเสียสังเคราะห์ให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง ทั้งนี้ น้ำเสียสังเคราะห์มีการเติมแร่ธาตุอื่นๆ ได้แก่ เหล็ก โคบอลต์ ทองแดง โมลิบดีนัม แมงกานีส และสังกะสี เพื่อเป็นธาตุอาหารรองสำหรับจุลินทรีย์อีกด้วย น้ำเสียสังเคราะห์ที่ได้จากการเตรียมจากสารเคมีดังกล่าวมีค่าซีโอดีทั้งหมดเท่ากับ 835 ± 14.2 mg COD/L ไนโตรเจน (TKN) เท่ากับ 57.9 ± 1.1 mg N/L และแอมโมเนียในไนโตรเจนเท่ากับ 50 ± 0.3 mg N/L ส่วนความเป็นกรดค่าเท่ากับ 7.5 ± 0.2 สำหรับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในการเริ่มต้นการทดลองนั้นนำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

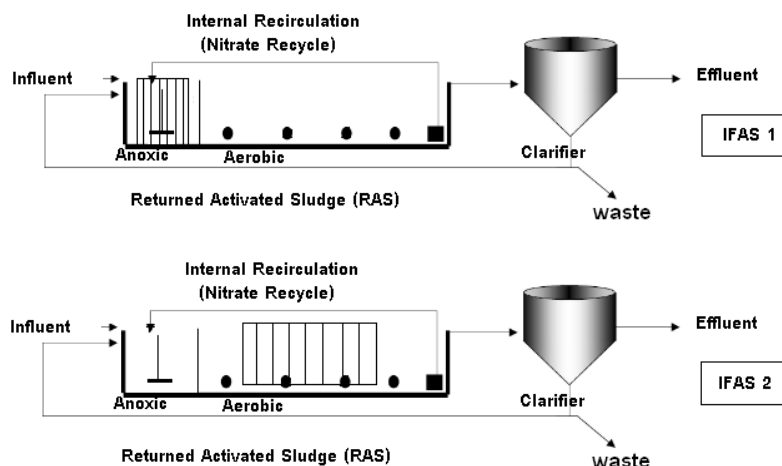
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบจำลอง

การศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาเชิงทดลองภายในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ดำเนินการทดลองโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ที่เรียกว่า Modified Ludzack – Ettinger (MLE) จำนวน 2 ระบบ กำหนดให้ระบบบำบัดน้ำเสียที่ 1 และ 2 เรียกว่า IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ ระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบประกอบด้วยถังปฏิกรณ์แอนน็อกซิกปริมาตร 10.6 L ถังปฏิกรณ์เติมอากาศปริมาตร 25.7 L และถังตกตะกอนเรียง ปริมาตร 10 L ต่อกันดังภาพที่ 1 ระบบ IFAS 1 มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® ที่ทำจากวัสดุโพลีเอสเตอร์ ที่มีลักษณะเป็นเส้นเชือก

เชื่อมต่อกันเป็นวงกลมเหลี่ยมและเชื่อมแต่ละวงเข้าด้วยกันเป็นผืนคล้ายใยแมงมุม จำนวน 6 แผ่นภายในถังปฏิกริยาแอนน็อกซิก แต่ละแผ่นมีขนาดกว้าง 12 cm ยาว 15 cm ส่วนระบบ IFAS 2 มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® จำนวน 6 แผ่นภายในถังปฏิกริยาเติมอากาศ แต่ละแผ่นมีขนาดกว้าง 12 cm ยาว 24 cm ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS1 และ IFAS 2 มีอัตราการหมุนเวียนตะกอนกลับจากถังตกตะกอนเข้าสู่ถังปฏิกริยาแอนน็อกซิก (Recycled Activated Sludge, RAS) เท่ากับ 1.00Q มีอัตราการหมุนเวียนตะกอนจุลินทรีย์กลับจากถังปฏิกริยาเติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกริยาแอนน็อกซิก 1.25Q มีระยะเวลาเก็บกักทางชลศาสตร์ (Hydraulic Retention Time, HRT) เท่ากับ 9 ชั่วโมง ถังเติมอากาศถูกควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับ 4 mg/L และอุณหภูมิห้องประมาณ 28 ± 2 °C

2.3 ระเบียบวิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นโดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ถังปฏิกริยาแอนน็อกซิกและถังปฏิกริยาเติมอากาศของทั้งสองระบบ หลังจากนั้น จึงป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบทั้งสองด้วยอัตราการไหล 100 L/day เติมน้ำทั้งสองอย่างต่อเนื่องด้วยอายุสลัดจ์ เท่ากับ 9 วัน ดำเนินการเก็บตัวอย่างเป็นระยะๆ ทุกสัปดาห์ จนระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State Condition) หลังจากนั้น จึงเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ครั้ง แล้วนำไปคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อใช้ในการสรุปผลการทดลอง ตลอดระยะเวลาของการทดลองจะทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ สารอินทรีย์ทั้งหมดบ่งชี้ด้วยค่า Total Chemical Oxygen Demand (TCOD) สารอินทรีย์ละลายน้ำบ่งชี้ด้วยค่า Soluble Chemical Oxygen Demand (SCOD) Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS), Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS), และ Sludge Volume Index (SVI) ตามวิธีของ Standard Methods (APHA, 1995) สำหรับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ตรวจวัดด้วยเครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ Eutech รุ่น CyberScan DO 110 ความเป็นกรดต่าง ตรวจวัดด้วยเครื่องวัด CyberScan รุ่น pH 510 สำหรับแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) ไนไตรท์ไนโตรเจน ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) และไนเตรทไนโตรเจน ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) ตรวจวัดด้วยวิธี Phenate, Colorimetric และ Brucine ตามลำดับ ด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer รุ่น Cary 1E เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบ สำหรับปริมาณจุลินทรีย์บนผิวดังกล่าวนั้นทำการตรวจวัดโดยใช้หลอดชนิดยี่ห้อที่พัฒนาขึ้นสำหรับการนับจำนวนแรงดันสูง ทำการเก็บจุลินทรีย์บน Bioweb® จำนวน 4-6 วง จากถังปฏิกริยาเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ หลังจากนั้น นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการ MLSS และ MLVSS นอกจากนี้ ยังมีการนำไปคำนวณ MLVSS Equivalent ซึ่งคำนวณได้จากการนำ MLVSS ต่อวงไปคูณด้วยจำนวนวงทั้งหมดในถังปฏิกริยา หลังจากนั้น นำมาหารด้วยปริมาตรของถังปฏิกริยา



ภาพที่ 1 แผนภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS1 และ IFAS2

2.4 การศึกษาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

หลังจากเก็บตัวอย่างที่สภาวะคงตัวเพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 จึงทำการศึกษาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้นในถังปฏิกรณ์แอนน็อกซิกและถังปฏิกรณ์เติมอากาศ การศึกษาดำเนินการโดยใช้การทดลองแบบกะ (Batch Test) สำหรับอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันดำเนินการโดยการเติมสารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนที่เกินพอแต่ไม่มีการเติมสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะเติมอากาศ ดำเนินการเก็บตัวอย่างทุกๆ 15 นาที แล้วนำผลไปคำนวณหาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน ส่วนการศึกษาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันนั้นมีการเติมสารอินทรีย์และสารประกอบไนเตรทในโตรเจนที่เกินพอ ทั้งนี้ มีการตรวจสอบว่าไม่มีออกซิเจนละลายน้ำเหลืออยู่ในสลัดจ์ ดำเนินการเก็บตัวอย่างทุกๆ 15 นาที โดยมีการกวนผสมโดยใบกวนตลอดเวลา แล้วนำผลไปคำนวณหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ปริมาณจุลินทรีย์

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 บ่งชี้ในรูปของ MLVSS พบว่า ระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 มีปริมาณจุลินทรีย์ภายในระบบใกล้เคียงกัน เนื่องจากระบบทั้งสองถูกเดินระบบด้วยอายุสลัดจ์ เท่ากับ 9 วัน เหมือนกัน เมื่อนำปริมาณจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะบนผิวตัวกลางที่ติดตั้งภายในปฏิกรณ์แอนน็อกซิกของระบบ IFAS 1 และภายในถังปฏิกรณ์เติมอากาศของระบบ IFAS 2 มาคำนวณปริมาณ MLVSS เทียบเท่า (MLVSS Equivalent) พบว่า จุลินทรีย์ที่อยู่ในถังปฏิกรณ์แอนน็อกซิกของระบบ IFAS 1 สูงกว่าระบบ IFAS 2 เพียง 2.0% และระบบ IFAS 2 มีจุลินทรีย์อยู่ในถังปฏิกรณ์เติมอากาศสูงกว่าระบบ IFAS 1 เพียง 1.6% เท่านั้น ทำให้สันนิษฐานได้ว่าระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ควรมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 1 ความเข้มข้น MLSS และ MLVSS ภายในถังปฏิกริยาและบนตัวกลางของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2

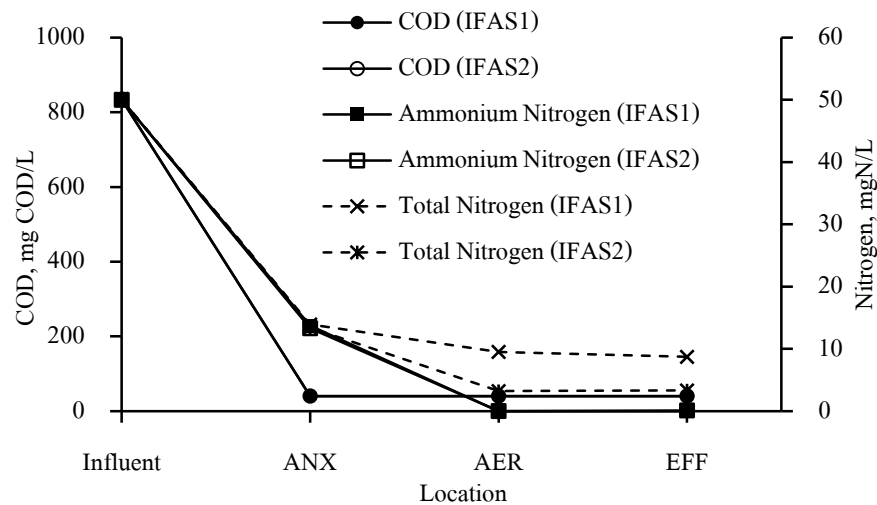
Location	MLSS (mg/L)		MLVSS (mg/L)		Biofilm MLVSS (g/m ²)		MLVSS Equivalent	Total MLVSS (mg/L)	
	IFAS1	IFAS2	IFAS1	IFAS2	IFAS1	IFAS2	(mg/L)	IFAS1	IFAS2
Anoxic	5340	5720	5120	5490	46.4	-	481	5601	5490
Aerobic	5660	5420	5430	5250	-	40.6	269	5430	5519
Clarifier	8	8	7	7	-	-	-	7	7

หมายเหตุ MLVSS Equivalent คำนวณจากปริมาณจุลินทรีย์บนตัวกลางทั้งหมดในระบบหารด้วยปริมาตรถัง

ปฏิกริยา และ Total MLVSS = MLVSS + MLVSS Equivalent

3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจน

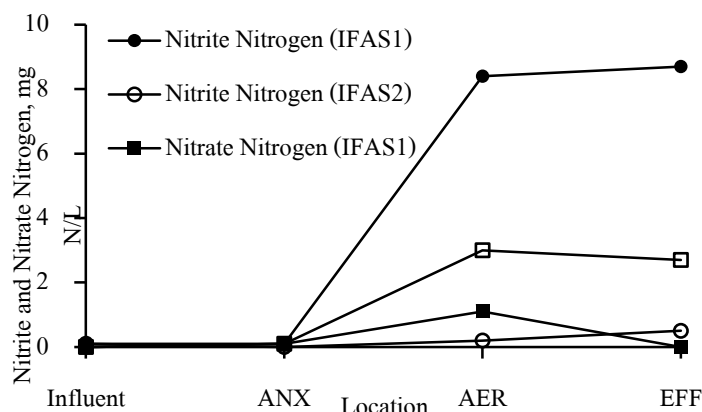
หลังจากเดินระบบ IFAS1 และ IFAS 2 ภายใต้การควบคุมที่สภาวะแวดล้อมเดียวกันจนเข้าสู่สภาวะคงตัว พบว่า ระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนเท่ากัน ดังภาพที่ 2 ระบบ IFAS ทั้งสองสามารถกำจัด COD ได้สูงถึง 95.2% และกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้อย่างสมบูรณ์ คือ 100% น้ำทิ้งของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 มีความเข้มข้นของ COD เท่ากับ 40 mg/L และไม่มีแอมโมเนียมไนโตรเจนเหลืออยู่ในน้ำทิ้งของทั้งสองระบบ เห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนของระบบ IFAS ทั้งสองระบบมีค่าสูงมาก เนื่องจากการกำหนดอายุสลัดจ์สำหรับการเดินระบบทั้งสองเท่ากับ 9 วัน ซึ่งเป็นค่าอายุสลัดจ์ที่สูงกว่าค่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำ (Grady et al., 1999) ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่ม Heterotrophs และ Autotrophs ที่อยู่ในรูปแขวนลอยสูง สารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งของทั้งสองระบบเป็นสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำและไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ ดังจะเห็นได้จากความเข้มข้นสารอินทรีย์เท่ากันในถังปฏิกริยาแอนอ็อกซิกและถังปฏิกริยาเติมอากาศ ภาพที่ 2 ยังระบุว่า ความเข้มข้นไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมของแอมโมเนียมไนโตรเจน ไนไตรท์ และไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้งของระบบ IFAS2 นั้นต่ำกว่าระบบ IFAS 1 โดยความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 8.7 ± 1.2 mg N/L และ 3.4 ± 0.2 mg N/L ตามลำดับ ทั้งนี้ ความแตกต่างของความเข้มข้นของไนโตรเจนทั้งหมดเกิดขึ้นจากความเข้มข้นของไนไตรท์และไนเตรทไนโตรเจนในน้ำทิ้ง จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกริยาเติมอากาศของระบบ IFAS 2 สามารถกำจัดสารไนโตรเจนไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนได้ดีกว่าระบบ IFAS 1



หมายเหตุ: ANX = Anoxic; AER = Aerobic; EFF = Effluent

ภาพที่ 2 ความเข้มข้นสารอินทรีย์และแอมโมเนียมที่ถึงปฏิกิริยาต่างๆ ของระบบ IFAS1 และ IFAS 2

จากภาพที่ 3 พบว่า ระบบ IFAS 1 เกิดการสะสมของไนโตรเจนในถังปฏิกิริยาเดิมอากาศ และมีปริมาณมากกว่าไนโตรเจนในถังไนโตรเจน แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเพื่อเปลี่ยนแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนไตรท์ไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrosomonas* spp. เกิดขึ้นได้ดี แต่การเปลี่ยนไนไตรท์ไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. เกิดขึ้นได้ไม่ดี ทั้งนี้ เป็นเพราะว่าการทดลองระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองทำงานที่อุณหภูมิ 28 ± 2 °C จุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. เจริญได้ดีที่อุณหภูมิที่ $30-40$ °C จึงเกิดการสะสมของไนไตรท์ไนโตรเจนในถังปฏิกิริยาเดิมอากาศ (Helinga et al., 1998; van, Dongen et al., 2001; Grunditz and Dhammar, 2001; Yamamoto et al., 2006; Sriwiriart et al., 2008) ขณะที่ระบบ IFAS 2 พบว่า การเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันสามารถออกซิไดซ์แอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นไนไตรท์ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจนได้ตามลำดับได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจาก ภายในถังปฏิกิริยาเดิมอากาศของระบบ IFAS 2 มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® ทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. ในถังปฏิกิริยาเดิมอากาศสูงกว่าระบบ IFAS 1 จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงว่าระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 2 มีศักยภาพการกำจัดธาตุอาหารไนโตรเจนได้ดีกว่าระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1

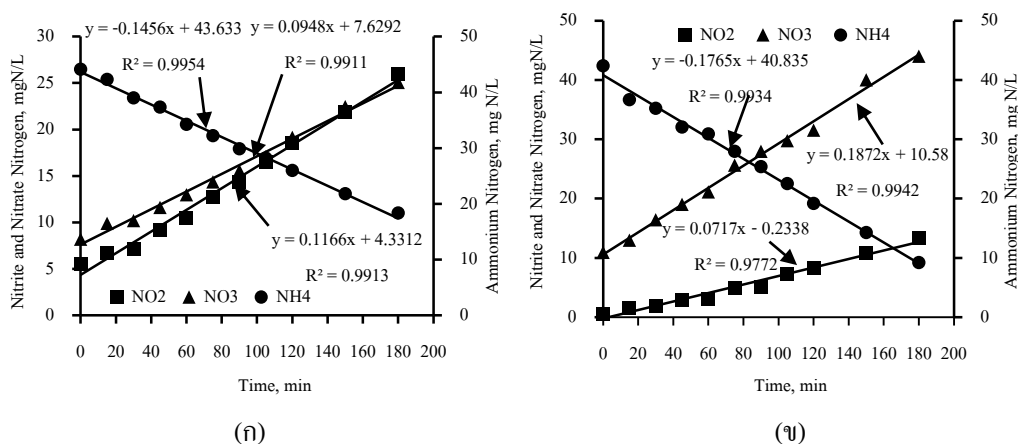


หมายเหตุ: ANX = Anoxic; AER = Aerobic; EFF = Effluent

ภาพที่ 3 ความเข้มข้นไนไตรท์และไนเตรทไนโตรเจนในถังปฏิกรณ์ต่างๆ ของระบบ IFAS1 และ IFAS 2

3.3 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

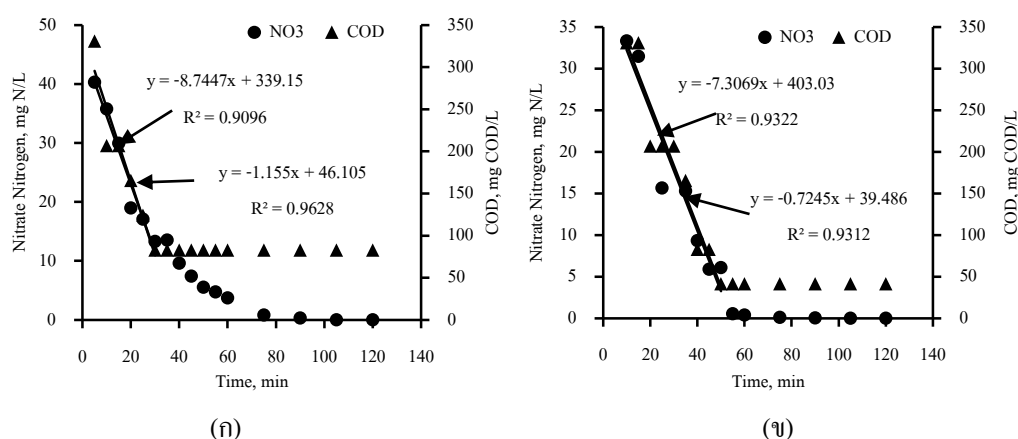
การทดลองเพื่อศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันหรือดีไนตริฟิเคชันของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางของระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4 พบว่าอัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 0.146 mg N/L-min และ 0.177 mg N/L-min ตามลำดับ และเมื่อนำปริมาณ MLVSS มาคำนวณอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะพบว่า อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 0.031 g N/g MLVSS/day และ 0.048 g N/g MLVSS/day ตามลำดับ สำหรับอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางของระบบ IFAS 2 พบว่า มีอัตราเท่ากับ 0.015 g N/g MLVSS/day ดังนั้น อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของจุลินทรีย์แขวนลอยของระบบ IFAS 2 จึงเท่ากับ 0.033 g N/g MLVSS/day ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะของระบบ IFAS 1 แสดงให้เห็นว่า การติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกรณ์เติมอากาศเพิ่มศักยภาพการเกิดไนตริฟิเคชันขึ้นในถังปฏิกรณ์เติมอากาศ



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจน ไนไตรท์และไนเตรทไนโตรเจนเมื่อเทียบกับเวลาของจุลินทรีย์ในระบบ IFAS 1 (ก) และ IFAS 2 (ข) ในถังปฏิกรณ์เติมอากาศ

ภาพที่ 4 ยังระบุอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์และไนเตรทไนโตรเจนของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เมื่อนำมาคำนวณอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนจำเพาะและอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะ พบว่า อัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนจำเพาะของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 0.025 g N/g MLVSS/day และ 0.020 g N/g MLVSS/day ตามลำดับ ส่วนอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 0.020 g N/g MLVSS/day และ 0.051 g N/g MLVSS/day ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่า ระบบ IFAS 1 มีอัตราการเกิดไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนจำเพาะใกล้เคียงกับระบบ IFAS 2 แต่ระบบ IFAS 2 มีอัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนจำเพาะสูงกว่าระบบ IFAS 1 อย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า ระบบ IFAS 2 สามารถออกซิไดซ์ไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนเป็นไนเตรทไนโตรเจนได้ดีกว่าเนื่องจากมีจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. ที่อยู่ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางที่ติดตั้งในถังปฏิกรณ์เติมอากาศ ในขณะที่ระบบ IFAS 1 พบว่า เกิดการสะสมของไนโตรเจนในไตรท์ไนโตรเจนภายในถังปฏิกรณ์เติมอากาศเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. เจริญได้ไม่ดีที่สภาวะการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น

จากภาพที่ 5 แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (Specific Denitrification Rate, SDNR) ของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางของระบบ IFAS 1 และของจุลินทรีย์แขวนลอยในระบบ IFAS 2 พบว่า อัตราการกำจัดสารอินทรีย์จำเพาะของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 เท่ากับ 2.43 g COD/g MLVSS/day และ 2.02 g COD/g MLVSS/day ตามลำดับ โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะเท่ากับ 0.32 g N/g MLVSS/day และ 0.18 g N/g MLVSS/day ตามลำดับ พบว่า ระบบ IFAS 1 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะสูงกว่าระบบ IFAS 2 อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของระบบ IFAS 1 ส่วนใหญ่เกิดจากจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในถังปฏิกรณ์เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของจุลินทรีย์แขวนลอยในระบบ IFAS 1 ที่ไม่มีตัวกลางติดตั้งอยู่เท่ากับ 0.30 g N/g MLVSS/day ภายใต้การควบคุมตัวแปรอื่นๆ ที่เหมือนกัน แสดงให้เห็นว่า ระบบ IFAS 1 มีสัดส่วนของ Active Biomass ใน MLVSS สูงกว่าระบบ IFAS 2 (Stensel, et al., 2000) ทั้งนี้ เนื่องจากการติดตั้งตัวกลางในถังเติมอากาศของระบบ IFAS 2 ทำให้อายุสัปดาห์ของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มสูงขึ้น ทำให้สัดส่วนของ Active Biomass ลดน้อยลง เมื่อหลุดลอกมาผสมกับจุลินทรีย์แขวนลอยจึงทำให้ Active Biomass ใน MLVSS ลดต่ำลง



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์และไนเตรทไนโตรเจนเมื่อเทียบกับเวลาของจุลินทรีย์ในระบบ IFAS 1 (ก) และ IFAS 2 (ข) ในถังปฏิกรณ์แอนน็อกซิก

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ IFAS 1 และ IFAS 2 เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และธาตุอาหารไนโตรเจนที่มีการติดตั้งตัวกลาง Bioweb® ในถังปฏิกรณ์แอนнокซ์หรือถังปฏิกรณ์เติมอากาศของระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ตามลำดับ สรุปได้ว่า ระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันในการกำจัดสารอินทรีย์และแอมโมเนียมไนโตรเจนได้สูงถึงประมาณ 95.2% และ 100% ตามลำดับ เนื่องจากระบบทั้งสองทำงานที่อายุสลัดจ์ที่สูงกว่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำ อย่างไรก็ตาม พบว่า ระบบ IFAS 2 นั้นมีไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำทิ้งต่ำกว่า ระบบ IFAS 1 เพราะระบบ IFAS 1 เกิดการสะสมของไนโตรเจนในถังปฏิกรณ์เติมอากาศเนื่องจากจุลินทรีย์กลุ่ม *Nitrobacter* spp. เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง ขณะที่ระบบ IFAS 2 สามารถออกซิไดซ์ไนโตรเจนเป็นไนเตรตไนโตรเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากมีจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวเพิ่มเติมในบนชั้นไบโอฟิล์มที่ติดตั้งภายในถังปฏิกรณ์เติมอากาศ อย่างไรก็ตาม พบว่า ระบบ IFAS 1 มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะสูงกว่าระบบ IFAS 2 เพราะจุลินทรีย์แวนลอยมีสัดส่วน Active Biomass สูง แต่การติดตั้งตัวกลางในถังปฏิกรณ์เติมอากาศ ทำให้อายุสลัดจ์ของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มเพิ่มสูงขึ้นและหลุดลอกมาผสมกับจุลินทรีย์แวนลอยทำให้จุลินทรีย์แวนลอยมีสัดส่วนของ Active Biomass ลดต่ำลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์ความเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม พืชวิทยาและการบริหารจัดการสารเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล สำหรับทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) สำหรับทุนวิจัยเลขที่สัญญา MRG5080357

6. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2553. เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียของชุมชน (ฉบับที่ 127). ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- APHA, AWWA, and WE. 1995. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. (19th ed). Washington DC: American Public Health Association.
- Azimi, J. T., Hooshyari, B., M., and Nabi, B. GH. 2007. "Enhanced COD and nutrient removal efficiency in a hybrid integrated fixed film activated sludge process". **Iranian Journal of Science and Technology**, 31(5): 523-533.
- Grady, C. P. L., Daigger, G.T., and Lim, H. C. 1999. **Biological Wastewater Treatment**. (2nd). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Grunditz, C. and Dhammar, G. 2001. "Development of nitrification inhibition assays using pure cultures of *nitrosomonas* and *nitrobacter*". **Water Research**, 35(2): 433-440.

- Hellinga, C., Schellen, A. A. J. C., Mulder, J. W., van Loosdrecht, M. C. M., and Heijnen, J. J. 1998. "The SHARON process: An innovative method for nitrogen removal from ammonium-rich waste water". **Water Science and Technology**, 37(9): 135–142.
- Sriwiriyarat, T., Ungkurarate, W., Fongsatitkul, P., and Chinwetkitvanich, S. 2008. "Effects of dissolved oxygen on biological nitrogen removal in Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) wastewater treatment process". **Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering**, 43(5): 518-527.
- Stensel, H.D. and Horne, G. 2000. "Evaluation of denitrification kinetics at wastewater treatment facilities". **Proceedings of the Water Environment Federation**, WEFTEC 2000: Session 11 through Session 20: 633-654.
- Su, J. L., and Ouyang, C.F. 1997. "Advanced biological enhanced nutrient removal process by the addition of rotating biological contactors". **Water Science and Technology**, 35(8): 153-160.
- van Dongen U, Jetten, MSM., and van Loosdrecht, MCM. 2001. "The SHARON-Anammox process for treatment of ammonium rich wastewater" **Water Science and Technology**, 44(1): 153–160.
- Yamamoto, T., Takaki, K., Koyama, T., and Furukawa, K. 2006. "Novel partial nitrification treatment for anaerobic digestion liquor of swine wastewater using swim-bed technology". **Journal of Bioscience and Bioengineering**, 102(6): 497–503.

การวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยศรีปทุม
SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION ANALYSIS IN LECTURE BUILDING
SRIPATUM UNIVERSITY

พศวีร์ ศรีโหมด

ธนภัทร พรหมวัฒนภักดี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: pasawee.sr@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption :SEC) เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับรายผลผลิต โดยวัดปริมาณพลังงานที่ใช้เทียบกับหน่วยนับของผลผลิตทางกายภาพ ดังนั้นค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ จึงสะท้อนถึงประสิทธิภาพและต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ในส่วนของอาคารจะแสดงถึงการ ใช้พลังงานต่อพื้นที่หรือจำนวนผู้ใช้งาน เพื่อที่จะเสนอการนำหลักการนี้ไปใช้ในการจัดการพลังงานในอาคาร บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารเรียนอย่างเป็นระบบโดยใช้ อาคารเรียนที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุมวิทยาเขตบางเขนเป็นกรณีศึกษา จำนวน 3 อาคารคือ อาคาร 30 ปีศรีปทุม (อาคาร 9) อาคารสยามบรมราชกุมารี (อาคาร 5) และอาคาร 40 ปีศรีปทุม (อาคาร 11) การวิเคราะห์เริ่มจากจัดทำข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารตามการใช้ประโยชน์ภายในอาคารที่มี นัยสำคัญกับการใช้พลังงานของอาคารใน 2 รูปแบบ คือ ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนผู้ใช้อาคารและดัชนี การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศที่ใช้งานจริง จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าดัชนีการใช้พลังงานของ อาคาร 5 และอาคาร 11 มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันและแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าอาคาร 9 ทั้ง 2 แบบ ซึ่ง แสดงให้เห็นได้ว่าอาคารทั้งสอง มีต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าอาคารเรียนอื่นๆ ซึ่งจากข้อมูลดัชนีการใช้ พลังงานที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการบริหารจัดการต้นทุนการใช้พลังงานและการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ พลังงานของอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยในอนาคตต่อไป

คำหลัก: ดัชนีการใช้พลังงาน, ต้นทุนพลังงาน, อาคารเรียน

ABSTRACT

Specific energy consumption (SEC) is mainly utilized as an energy evaluation index; this energy criterion is conducted in terms of a ratio of energy consumption per product. As a result, SEC reflects energy efficiency and energy cost. In case of a building application, SEC is the ratio of energy consumption per utilization area or occupants. To further apply this concept in building energy management, this paper aims to systematically analyze and compare SEC using the case study of three lecture buildings with high energy

consumptions at Sripatum University. The studied buildings are 30th Anniversary Sripatum Building (BLDG. 9), Siamborom Rajagumari Building (BLDG. 5) and 40th Anniversary Sripatum Building (BLDG. 11). First of all, the analysis provides two SEC indexes with significances, which compose of SEC per a number of users and SEC per actual conditioned space. The results show that the average SEC of BLDG.5 is approximately identical to BLDG. 11 for both SEC indexes, whereas the power consumption trend of BLDG 5 is higher than BLDG. 9 based on the same SEC indexes. It is evident that BLDG.5 and BLDG.11 have higher energy expense than other buildings. According to the analysis, the findings are useful to efficiently manage energy cost and to improve energy consumption efficiency for lecture buildings in future.

KEYWORDS: Specific energy consumption, energy cost, lecture building

1. บทนำ

ในปัจจุบันการบริหารค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน และการค้นหาวิธีการประหยัดพลังงานในองค์กร มีบทบาทที่สำคัญมากขึ้นในงานวิศวกรรม เนื่องจากราคาพลังงานมีความผันผวนอยู่ตลอดเวลาและมีแนวโน้มที่สูงขึ้น ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงานมาเพื่อใช้ในการดำเนินธุรกิจจึงเป็นต้นทุนที่สูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และวิธีการประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร ถ้าพิจารณาเฉพาะข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง:kWh)เพียงอย่างเดียว ไม่เพียงพอที่จะชี้วัดได้ว่าอาคารมีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ ยกตัวอย่างเช่น อาคารเรียนที่มีกิจกรรมในการเปิดใช้ห้องเรียนเพิ่มมากขึ้นย่อมมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมากขึ้น หรือในทางกลับกันถ้าอาคารมีการเปิดใช้ห้องเรียนเป็นครั้งคราวหรือไม่กิจกรรมในการใช้พื้นที่อาคาร อาคารหลังนี้จึงมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่น้อยอย่างแน่นอน ด้วยเหตุนี้ค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถบอกได้ว่าอาคารใดที่มีการบริหารต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ากัน ดังนั้นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานจึงควรพิจารณาข้อมูลระหว่างปริมาณการใช้พลังงานของอาคาร โดยนำมาเทียบกับตัวแปรการใช้ประโยชน์ของอาคารที่มีผลกับการใช้พลังงานนั้นๆ

โดยการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานในอาคาร(Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งเป็นข้อมูลของสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อปริมาณการใช้ประโยชน์ของอาคาร (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2545 ; ศุภกิจ บุญศิริ, 2547) สามารถวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยการจัดทำข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารแบบต่างๆ มีการดำเนินงานทั้งในภาครัฐและภาคเอกชนอย่างต่อเนื่อง อาทิเช่น การศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก (เบญจมาศ ปุยอ็อก และ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล, 2550) โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาข้อมูลปริมาณพลังงานที่อุตสาหกรรมเหล็กใช้ต่อผลผลิตของอุตสาหกรรมเหล็กไทย ข้อมูลที่ได้จากโรงงานเหล็กแต่ละแห่งจะถูกนำมาหาค่า SEC ในภาพรวมแต่ละปีของผู้ผลิตเหล็กแต่ละประเภท , โครงการศึกษาดัชนีการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ (SEC) : อาคารประเภทโรงพยาบาล (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม, 2550) โดยทำการศึกษาวิเคราะห์เพื่อให้มีค่าดัชนีการใช้พลังงานมาตรฐานของอาคารประเภทโรงพยาบาลในประเทศไทย โดยผลของงานวิจัยสามารถกำหนดค่ามาตรฐาน SEC ทั้งโรงพยาบาลภาครัฐและเอกชน เพื่อให้เป็นค่าที่ใช้เป็นดัชนีในการวิเคราะห์ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเอง

ดังนั้นจากความสำคัญ และประโยชน์ที่ได้จากการจัดทำดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ดังกล่าวข้างต้น ในบทความนี้จะทำการศึกษาและจัดทำข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเรียนต่าง ๆ ภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุม เพื่อจะได้ทราบถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในแต่ละอาคารเรียน และนำข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานดังกล่าวมาใช้ในการบริหารจัดการต้นทุนพลังงานพร้อมทั้งเป็นแนวทางการปรับปรุงการใช้พลังงานให้เกิดผลประโยชน์ในอนาคตต่อไป

2. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

ดัชนีการใช้พลังงานหรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) เป็นค่าปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับการใช้ประโยชน์ของอาคารในช่วงเวลาหนึ่งๆ (Wua L., Chenb B., Borc Y., and Wu Y. 2007: 3768-3777) โดยค่าดัชนีการใช้พลังงานจะทำให้รู้ถึงต้นทุนการใช้พลังงานของอาคาร ซึ่งในการวิเคราะห์หาค่าดัชนีดังกล่าวจำเป็นต้องมีขั้นตอนในการสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน และลักษณะการใช้ประโยชน์ของอาคารที่มีนัยสำคัญกับค่าการใช้พลังงานของอาคาร อาทิเช่น พื้นที่การใช้งาน (ตารางเมตร :m²) ในกรณีอาคารสำนักงานหรือห้างสรรพสินค้า หรือ จำนวนคนใช้ (IPD,OPD) ในกรณีอาคารโรงพยาบาล เป็นต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงาน (SEC) ที่เหมาะสมกับอาคารนั้นๆ โดยค่าดัชนีการใช้พลังงาน เป็นไปตามสมการดังนี้

$$SEC = \frac{\sum E}{\sum P} \quad (1)$$

$\sum E$ = ผลรวมของพลังงานที่ใช้ ซึ่งได้จากค่าความร้อนของพลังงานชนิดนั้นๆ คูณกับปริมาณพลังงานนั้นๆ ที่ใช้ในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยคิดจากพลังงานสุทธิ คือเป็นพลังงานที่ซื้อทั้งหมดหักลบกับพลังงานที่ขาย (หน่วยที่นิยมใช้เป็น MJ)

$\sum P$ = ผลรวมของปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน

สถานศึกษาส่วนใหญ่จะใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลักเพื่อดำเนินกิจกรรมการเรียนการสอน จากข้อมูลที่รวบรวมในรายงานการจัดการพลังงานและการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุปกรณ์ประกอบอาคารของมหาวิทยาลัยศรีปทุม เพื่อนำส่งให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (มหาวิทยาลัยศรีปทุม สำนักงานอาคารสถานที่, 2558) เป็นประจำทุกปีพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่อาคารเรียนส่วนใหญ่ใช้ในระบบปรับอากาศร้อยละ 40-60 รองลงมาได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ร้อยละ 10-30 และระบบ/อุปกรณ์อื่น ๆ ร้อยละ 5-20

ดังนั้นค่าดัชนีการใช้พลังงานในสถานศึกษาสามารถหาได้จากการนำปริมาณพลังงานที่ใช้ซึ่งส่วนใหญ่คือพลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ที่ได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟในแต่ละรอบเดือน ต่อด้วยค่าลักษณะการใช้ประโยชน์อาคารที่นัยสำคัญกับการใช้พลังงานของอาคารสถานศึกษา ซึ่งในบทความนี้ใช้ตัวแปร 2 ค่าด้วยกันคือ 1.พื้นที่ใช้สอยของอาคารที่มีการปรับอากาศ มีหน่วยเป็น ตารางเมตร (m²) และ 2. ปริมาณผู้ใช้อาคาร มีหน่วยเป็น คน (persons) ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า1 (SEC}_p\text{)} = \frac{\sum E_e}{\sum P_a} \quad (2)$$

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้า (SEC}_2\text{)} = \frac{\sum E_e}{\sum P_p} \quad (3)$$

$\sum E_e$	=	ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า ในรอบเดือน (kWh)
$\sum P_a$	=	ผลรวมการใช้พื้นที่ ที่มีการปรับอากาศ ในรอบเดือน (m ²)
$\sum P_p$	=	ผลรวมปริมาณผู้ใช้อาคาร ในรอบเดือน (persons)

ค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จึงหมายถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละรอบเดือนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตารางเมตร (kWh/m²) และ ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละรอบเดือนต่อหนึ่งหน่วยคนที่ใช้งานอาคาร มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์-ชั่วโมง/คน (kWh/person) ซึ่งใช้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารเรียน โดยแสดงออกเป็นดัชนีว่าสูงหรือต่ำอย่างไรเมื่อเทียบกับอาคารภายในมหาวิทยาลัยด้วยกัน นอกจากนี้ยังช่วยให้สามารถเห็นถึงโอกาสหรือศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารที่มีดัชนีการใช้พลังงานสูงๆ ซึ่งจะนำไปสู่การหามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่สมควรนำมาใช้

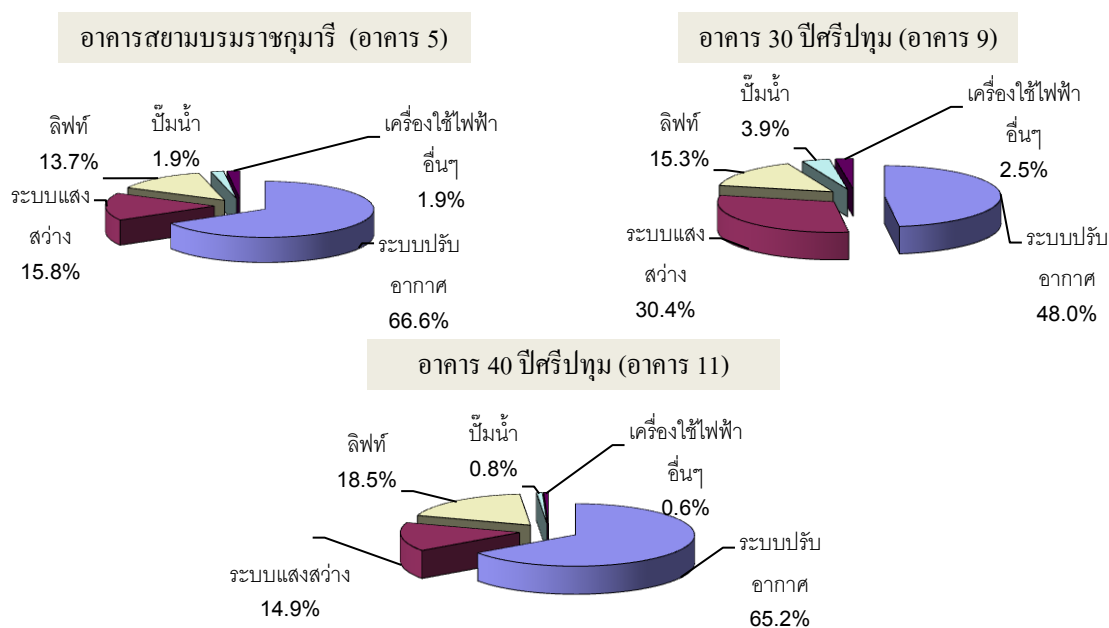
3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อจัดทำข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเรียนภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุม
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารเรียนต่างๆ ภายในมหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตบางเขน

4. วิธีการดำเนินวิจัย

4.1 ดำเนินการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารเรียน

ดำเนินการรวบรวมและสำรวจข้อมูลการใช้พลังงานอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยศรีปทุม เป็นกรณีศึกษา ดังนี้ 1.อาคารสยามบรมราชกุมารี(อาคาร 5), 2.อาคาร 30 ปี ศรีปทุม (อาคาร 9) และ 3. อาคาร 40 ปีศรีปทุม(อาคาร 11) ซึ่งจากการสำรวจสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าเบื้องต้นของแต่ละอาคารเรียนแสดงดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 11

4.2 ดำเนินการจัดทำข้อมูล คำนวณการใช้พลังงานของอาคารเรียน

จัดทำข้อมูลคำนวณการใช้พลังงานของอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยศรีปทุม (SEC) ในแต่ละรอบเดือน ตามค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อลักษณะการใช้ประโยชน์ของอาคารที่มีนัยสำคัญกับค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นๆ ดังในสมการ(2) และ (3) ซึ่งค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละรอบเดือน นำมาจากจำนวนหน่วยค่าไฟฟ้าที่บันทึกในใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง และลักษณะการใช้ประโยชน์ของอาคารเรียนที่มีผลกับการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งเป็นข้อมูลของอาคารมีอยู่ 2 ค่าดังนี้คือ ข้อมูลจำนวนผู้ที่ใช้งานแต่ละอาคาร โดยนำมาจากจำนวนผู้ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชาต่างๆ จากสำนักงานทะเบียนของมหาวิทยาลัย และจำนวนเจ้าหน้าที่ประจำแต่ละหน่วยงาน และข้อมูลพื้นที่ปรับอากาศที่ใช้งานจริงแต่ละอาคาร โดยนำมาจากการเปิดใช้ห้องเรียนตามตารางเรียน และกิจกรรมต่างๆ ที่ขอเปิดใช้ห้องภายในอาคารจากหน่วยงานต่างๆ

4.3. จัดทำข้อมูลเพื่อวิเคราะห์

ดำเนินการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้พลังงานของอาคารเรียน ในมหาวิทยาลัยศรีปทุมทั้ง 3 อาคาร

5. ผลการวิเคราะห์

การรวบรวมข้อมูลเพื่อดำเนินการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยศรีปทุม ในแต่ละรอบเดือนทั้ง 3 อาคาร ในช่วงเดือนมกราคม 2557 – ตุลาคม 2557 เป็นระยะเวลา 10 เดือน แสดงรายละเอียดข้อมูลได้ดังตารางที่ 1 -3

ตารางที่ 1 ข้อมูลการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานอาคารสยามบรมราชกุมารี (อาคาร 5)

อาคาร	อาคารสยามบรมราชกุมารี (อาคาร 5)										ค่าเฉลี่ย
เดือน	ม.ค.-57	ก.พ.-57	มี.ค.-57	เม.ย.-57	พ.ค.-57	มิ.ย.-57	ก.ค.-57	ส.ค.-57	ก.ย.-57	ต.ค.-57	
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	40,000	63,000	80,000	125,000	164,000	148,000	129,000	141,000	172,000	162,000	122,400
พท.ใช้งานจริง (ตรม.)	40,839	90,581	107,145	126,902	90,442	55,385	69,408	98,640	173,554	173,617	102,651
จน.ผู้ใช้งาน (คน)	29,250	45,016	51,242	61,246	48,986	27,387	32,989	50,726	100,189	100,669	54,770
SEC1 (kWh/ตรม.)	0.98	0.70	0.75	0.99	1.81	2.67	1.86	1.43	0.99	0.93	1.31
SEC2 (kWh/คน.)	1.37	1.40	1.56	2.04	3.35	5.40	3.91	2.78	1.72	1.61	2.51

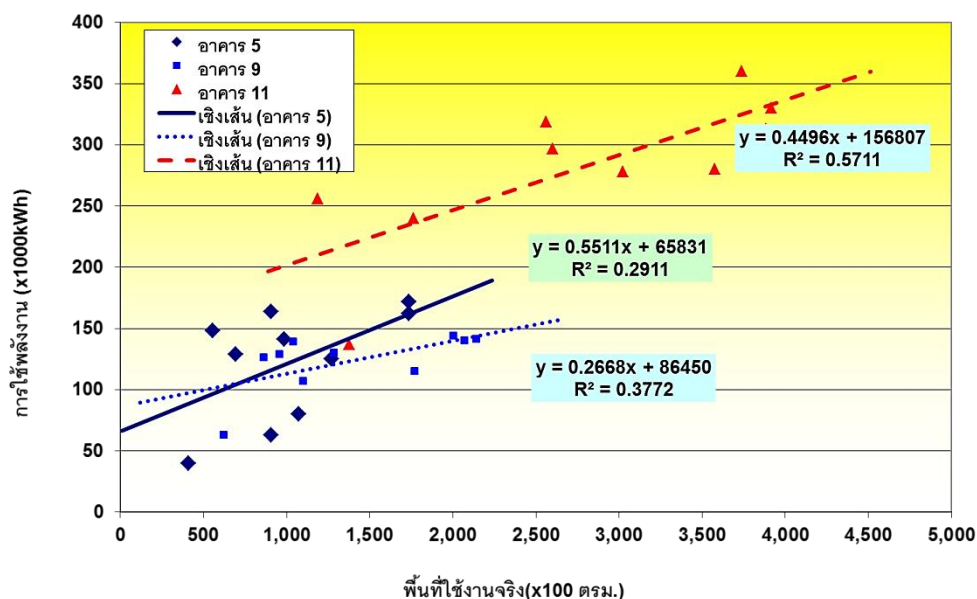
ตารางที่ 2 ข้อมูลการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานอาคาร 30 ปีศรีปทุม (อาคาร 9)

อาคาร	อาคาร 30 ปีศรีปทุม (อาคาร 9)										ค่าเฉลี่ย
เดือน	ม.ค.-57	ก.พ.-57	มี.ค.-57	เม.ย.-57	พ.ค.-57	มิ.ย.-57	ก.ค.-57	ส.ค.-57	ก.ย.-57	ต.ค.-57	
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	63,000	115,000	144,000	107,000	139,000	126,000	129,000	130,000	140,000	141,000	123,400
พท.ใช้งานจริง (ตรม.)	62,038	176,949	200,214	110,042	104,111	86,170	95,836	128,508	207,165	214,088	138,512
จน.ผู้ใช้งาน (คน)	40,782	90,609	101,533	83,648	68,179	60,310	61,979	69,532	117,569	126,678	82,082
SEC1 (kWh/ตรม.)	1.02	0.65	0.72	0.97	1.34	1.46	1.35	1.01	0.68	0.66	0.98
SEC2 (kWh/คน.)	1.54	1.27	1.42	1.28	2.04	2.09	2.08	1.87	1.19	1.11	1.59

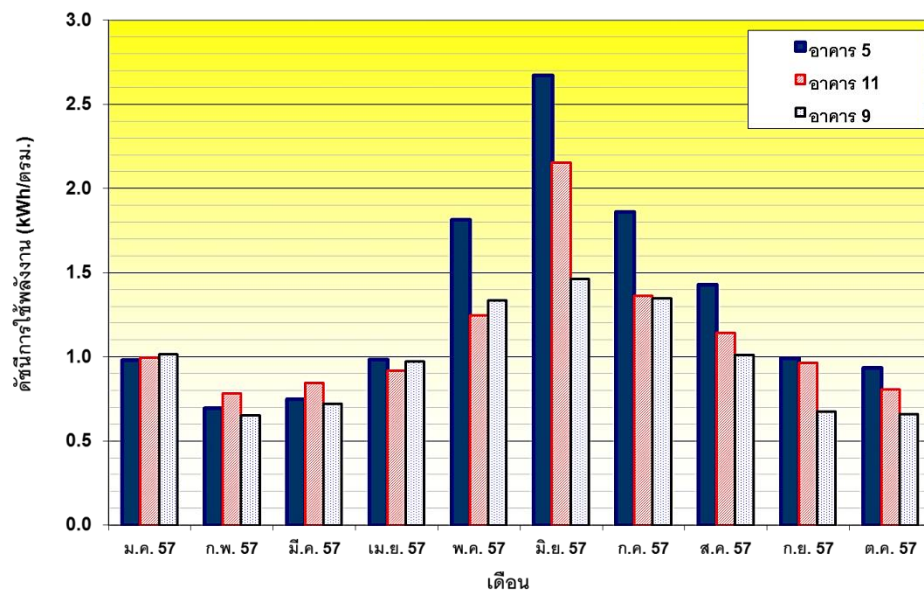
ตารางที่ 3 ข้อมูลการจัดทำดัชนีการใช้พลังงานอาคาร 40 ปีศรีปทุม (อาคาร 11)

อาคาร	อาคาร 40 ปีศรีปทุม (อาคาร 11)										ค่าเฉลี่ย
เดือน	ม.ค.-57	ก.พ.-57	มี.ค.-57	เม.ย.-57	พ.ค.-57	มิ.ย.-57	ก.ค.-57	ส.ค.-57	ก.ย.-57	ต.ค.-57	
พลังงานไฟฟ้า (kWh)	137,000	280,000	330,000	278,000	319,000	256,000	240,000	297,000	360,000	313,000	281,000
พท.ใช้งานจริง (ตรม.)	137,813	357,406	391,402	302,236	256,126	118,847	176,190	260,009	373,667	388,531	276,223
จน.ผู้ใช้งาน (คน)	71,580	191,826	209,500	142,675	139,531	55,264	68,805	105,664	192,016	192,016	136,888
SEC1 (kWh/ตรม.)	0.99	0.78	0.84	0.92	1.25	2.15	1.36	1.14	0.96	0.81	1.12
SEC2 (kWh/คน.)	1.91	1.46	1.58	1.95	2.29	4.63	3.49	2.81	1.87	1.63	2.36

5.1 ดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารต่อพื้นที่ปรับอากาศ (SEC_p) จากการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า มาเทียบกับการใช้พื้นที่ปรับอากาศที่เปิดใช้จริงในแต่ละรอบเดือน แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 2 จะพบว่าเมื่อมีการเปิดใช้พื้นที่ปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นทุกๆ อาคาร และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 อาคาร จะพบว่า อาคาร 11 และอาคาร 5 มีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าอาคาร 9 เมื่อคิดเทียบที่การเปิดใช้พื้นที่เท่ากัน แต่เมื่อคิดค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานของอาคารเรียนต่อพื้นที่ปรับอากาศ (SEC_p) ตลอดระยะเวลา 10 เดือน อาคาร 5 มีค่าดัชนีสูงกว่าอาคารอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ย 1.31 หน่วยต่อตารางเมตร ส่วนอาคาร 11 มีค่าเฉลี่ยที่ 1.12 หน่วยต่อตารางเมตร และอาคาร 9 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.98 หน่วยต่อตารางเมตร ภาพแสดงดัชนีการใช้พลังงาน SEC_p ดังภาพประกอบที่ 3

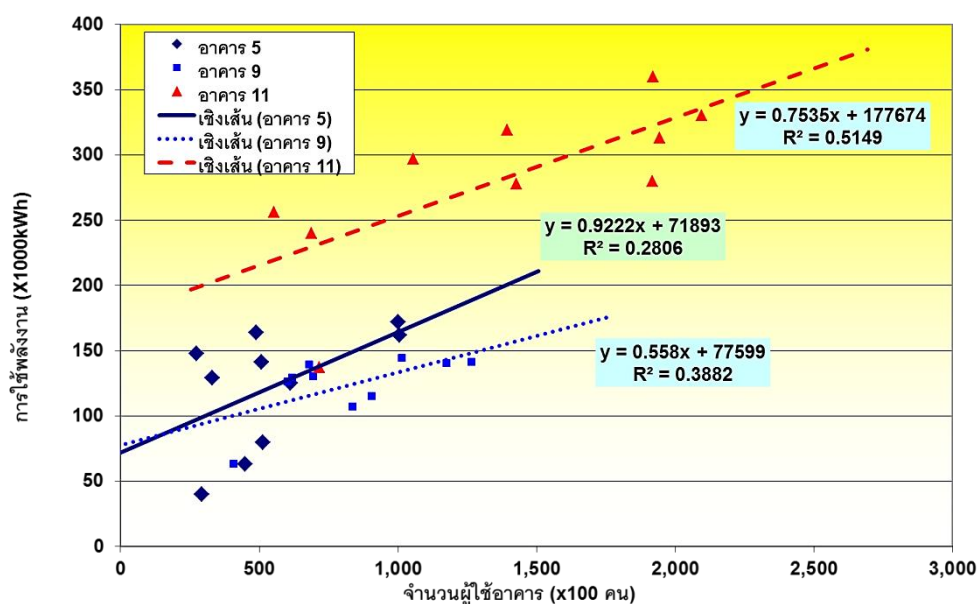


ภาพประกอบที่ 2 ปริมาณพลังงานไฟฟ้า(kWh) เทียบกับพื้นที่ปรับอากาศที่เปิดใช้จริง(ตร.ม.)

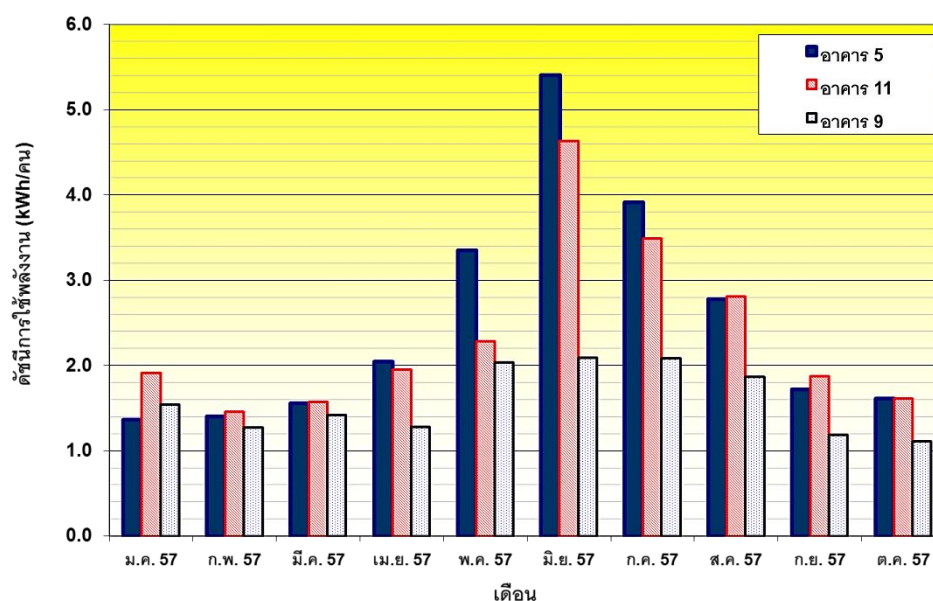


ภาพประกอบที่ 3 คำนวณการใช้พลังงาน SEC_1 (kWh/m²) ในแต่ละรอบเดือน

5.2 คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารต่อผู้ใช้อาคาร (SEC_2) จากการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามาเทียบกับปริมาณผู้ใช้อาคารในแต่ละรอบเดือน แสดงได้ดังภาพประกอบที่ 4 จะพบว่าเมื่อมีปริมาณผู้ใช้อาคารมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จะทำให้มีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นทุกๆ อาคาร และเมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 3 อาคาร จะพบว่า อาคาร 11 และอาคาร 5 มีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าอาคาร 9 เมื่อคิดเทียบกับปริมาณผู้ใช้อาคารที่เท่ากัน แต่เมื่อคิดค่าเฉลี่ยของค่านิการใช้พลังงานของอาคารเรียนต่อผู้ใช้อาคาร (SEC_2) ของอาคาร 5 มีค่าสูงกว่าอาคารอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ย 2.51 หน่วยต่อคน ส่วนอาคาร 11 มีค่าเฉลี่ยที่ 2.36 หน่วยต่อคน และอาคาร 9 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.59 หน่วยต่อคน ภาพแสดงค่านิการใช้พลังงาน SEC_2 ดังภาพประกอบที่ 5



ภาพประกอบที่ 4 ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh) เทียบกับปริมาณผู้ใช้อาคาร (คน)



ภาพประกอบที่ 5 ดัชนีการใช้พลังงาน SEC₂ (kWh/person) ในแต่ละรอบเดือน

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละอาคารเรียนในมหาวิทยาลัยศรีปทุม และสามารถเปรียบเทียบต้นทุนการใช้พลังงานในการใช้อาคารแต่ละอาคาร การจัดทำข้อมูลดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารเรียนสามารถทำได้ 2 แบบตามลักษณะการใช้ประโยชน์ของอาคารที่มีนัยสำคัญกับค่าการใช้พลังงานของอาคาร คือดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อพื้นที่ปรับอากาศที่ใช้งานจริง (SEC₁) และดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร (SEC₂) โดยจากการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าอาคารสยามบรมราชกุมารี (อาคาร 5) และอาคาร 40 ปี ศรีปทุม (อาคาร 11) มีค่าเฉลี่ยดัชนีการใช้พลังงานและแนวโน้มในการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าอาคาร 30 ปีศรีปทุม (อาคาร 9) ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานนี้จะเป็นข้อมูลที่น่ามาพิจารณาปรับปรุงการบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารทั้งอาคาร 5 และอาคาร 11 เช่นปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประกอบอาคารในพื้นที่ต่างๆของอาคาร โดยจัดแผนดำเนินการตรวจวัดค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และจัดสรรงบประมาณการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และการบริหารจัดการพื้นที่ให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ อาทิเช่น การใช้งานของห้องเรียนที่เหมาะสมกับจำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียนในแต่ละรายวิชา เพื่อลดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อจำนวนผู้ใช้อาคารลง เป็นต้น

7. รายการอ้างอิง

- กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2545. “คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร”, กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม
- ศุภกิจ บุญศิริ. 2547. “การทำดัชนีการใช้พลังงานเพื่อการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม”, กรุงเทพฯ: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยกรมโรงงานอุตสาหกรรม,

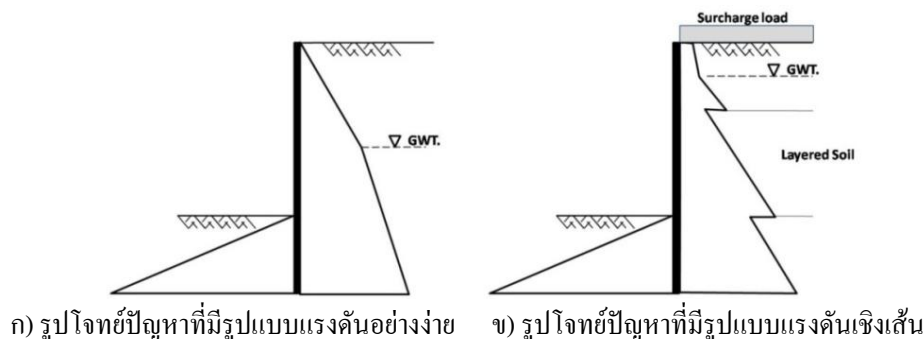
เบญจมาศ ปุยอ้อ และ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล. 2550. “การศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเหล็ก (SEC)”
การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, 098-102.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ภาควิชาสถาปัตยกรรม.
2550. “รายงานโครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ (SEC) อาคาร
ประเภทโรงพยาบาล”, กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวง
พลังงาน

Wua L., Chen B., Borc Y., and Wu Y. 2007. “Structure model of energy efficiency indicators and
applications.” **Energy Policy**., pp. 3768-3777, Volume 35, Issue 7

มหาวิทยาลัยศรีปทุม สำนักงานอาคารสถานที่. 2558. “รายงานการจัดการพลังงาน ประจำปี 57 ”, กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

(load combination) มากกรณี ดังตัวอย่างในภาพที่ 1 จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาวิธีคำนวณที่สะดวกรวดเร็ว ให้ผลถูกต้อง โดยใช้ทรัพยากรของสำนักงานจัดหาได้อย่างสะดวก



ภาพที่ 1 กำแพงกันดินเข็มพืดแบบคานยื่น (cantilever sheet pile wall)

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการนำสูตรคำนวณคาน (beam formula) กรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคาง-หมวากกลางช่วงคานที่วิเคราะห์สูตรฟังก์ชันของแรงเฉือน โมเมนต์ดัด ด้วยทฤษฎีโครงสร้างชั้นพื้นฐานมาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีดั้งเดิม เพื่อแก้โจทย์ปัญหาออกแบบกำแพงกันดินเข็มพืดแบบคานยื่น (cantilever sheet pile) ที่มีรูปทรงแรงดันบนกำแพงเชิงเส้นแบบต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดเวลาและแรงงาน

3. แนวคิดและทฤษฎี

3.1 การวิเคราะห์ออกแบบกำแพงกันดินเข็มพืดแบบคานยื่น

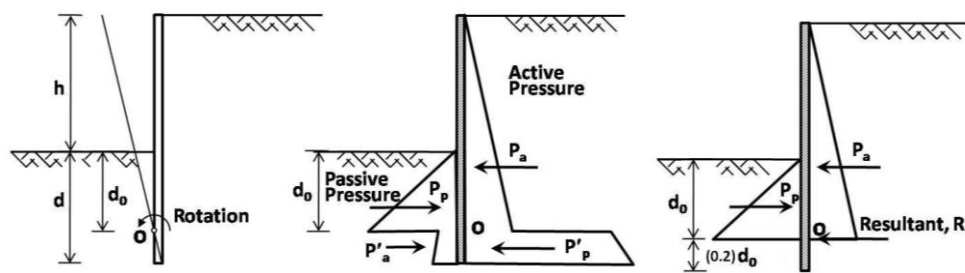
กำแพงกันดินเสาเข็มพืดแบบคานยื่นเป็นระบบกำแพงที่ไม่มีค้ำยัน ต้องออกแบบความยาวระยะฝังปลายเข็มพืดในชั้นดินมากพอให้เกิดสภาพยึดแน่น (fix earth support) พยุงแนวกำแพงตั้งอยู่ในสถานะสมดุลสถิต (static equilibrium) อย่างมีเสถียรภาพ รวมทั้งออกแบบหน้าตัดเข็มพืดให้มีคุณสมบัติต้านทานแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น ในภาพที่ 2 ก แสดงแนวการเคลื่อนตัวของกำแพงเมื่อพิจารณาโครงสร้างเข็มพืดเป็นคานแข็งเกร็ง (rigid beam) หมุนออกจากแนวตั้งรอบตำแหน่งจุด O ได้ระดับจุด แนวกำแพงฝั่งที่มีระดับผิวดินสูงกว่าเกิดแรงดันดินเชิงรุก (active earth pressure, P_a) ผลักกำแพงเคลื่อนออก ขณะที่ฝั่งตรงข้ามเกิดแรงดันดิน (passive earth pressure, P_p) ด้านการเคลื่อนออกของกำแพง ส่วนแนวกำแพงใต้จุด O ปลายล่างกำแพงเคลื่อนตัวกลับทิศเกิดแรงดันดินเชิงรุกและแรงดันดินเชิงรับ (P'_a และ P'_p) สลับด้านกับแนวกำแพงส่วนบนดังแสดงในภาพที่ 2 ข

การวิเคราะห์ออกแบบกำแพงสามารถลดทอนให้เป็นโครงสร้างดีเทอร์มิเนตที่คำนวณง่าย เรียกว่าวิธีอย่างง่าย (simplified method) (Padfield and Mair, 1984) ดังในภาพที่ 2 ค โดยเพิ่มสมมุติฐานว่าจุดหมุน O มีตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดที่เกิดสมดุลโมเมนต์ ($\sum M=0$) จึงอนุมานให้เป็นจุดเดียวกัน แล้วนำเงื่อนไขสมดุลนี้คำนวณระยะฝังเริ่มต้น d_0 ซึ่งเป็นตำแหน่งโดยประมาณของจุด O แต่ระยะฝังเริ่มต้น d_0 นี้ยังมีความยาวไม่มากพอทำให้กำแพงเกิดสมดุลของแรงในแนวราบ ($\sum F_H=0$) จะต้องออกแบบเพิ่มระยะฝังปลายเข็มพืดยาวเลยใต้จุด O ขึ้นอีกเพื่อสร้างแรงต้านแนวราบ ($P'_p - P'_a$) มาหักล้างกับแรงลัพธ์ R จนสมดุล (เพิ่มความยาวมากพอให้แรง

$P'_p - P'_a \geq R$) วิธีออกแบบในเชิงปฏิบัติที่สะดวกรวดเร็ว นิยมประมาณระยะฝังเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 20 รวมเป็นค่าออกแบบระยะฝังปลายเข็มพิคในชั้นดินทั้งหมด (d) เท่ากับ $1.2 d_0$

3.2 ความสอดคล้องระหว่างผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีแก้สมการสมดุล และจากสูตรคำนวณ

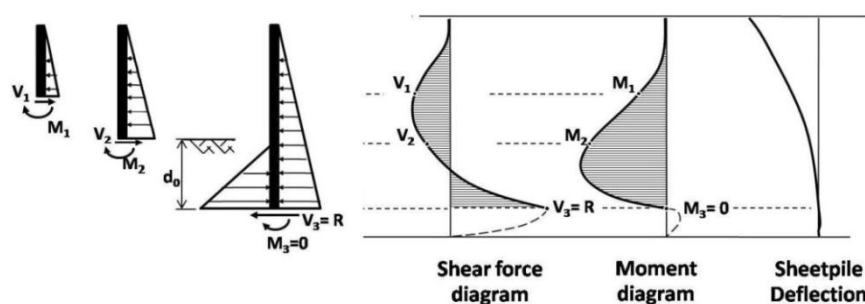
ในภาพที่ 3 แสดงวิธีแบ่งรูปตัดขวาง (section) ของกำแพงเข็มพิคที่ระยะต่างๆ แล้วใช้เงื่อนไขสมดุลของแรงและสมดุลโมเมนต์วิเคราะห์หาค่าแรงเฉือน (V) และโมเมนต์คัตของหน้าตัดเข็มพิค (M) บนแต่ละรูปตัดขวางที่พิจารณา



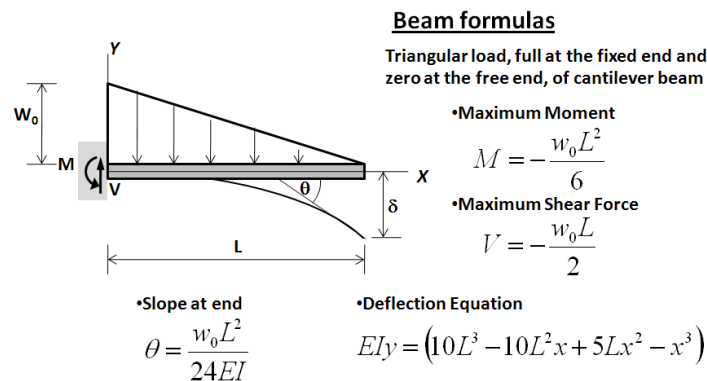
ก) การเคลื่อนตัวของกำแพง ข) สภาพแรงดันดินบนกำแพง ค) สภาพแรงดันดินเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีอย่างง่าย

ภาพที่ 2 สมมุติฐานของการออกแบบกำแพงกันดินเข็มพิคแบบคานยื่น

พบว่านอกจากใช้ระเบียบวิธีสร้างเงื่อนไขความสมดุลและแก้สมการที่ละชั้นเพื่อคำนวณคำตอบแล้ว อีกทางเลือกหนึ่งที่คำนวณหาได้รวดเร็วกว่าคือ การแทนค่าขนาดน้ำหนักแผ่บรรทุกบนคาน (w_0) และระบุค่าความยาวคาน (L) ลงใน สูตรคำนวณคานค้ำในภาพที่ 5 จนได้ค่า M และ V ซึ่งเป็นแรงปฏิกิริยา (reaction force) ที่จุดรองรับยึดแน่นของคานยื่น ซึ่งตรงกับผลคำนวณค่าแรงเฉือนและโมเมนต์คัตที่ต้องการ และเมื่อประยุกต์ใช้วิธีนี้ร่วมกับหลักการวางทับซ้อน (superposition principle) ก็จะสามารถวิเคราะห์โจทย์ปัญหากำแพงเข็มพิคที่ถูกแรงดันกระทำทั้งสองฝั่ง หรือรับน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 1 ค่าได้

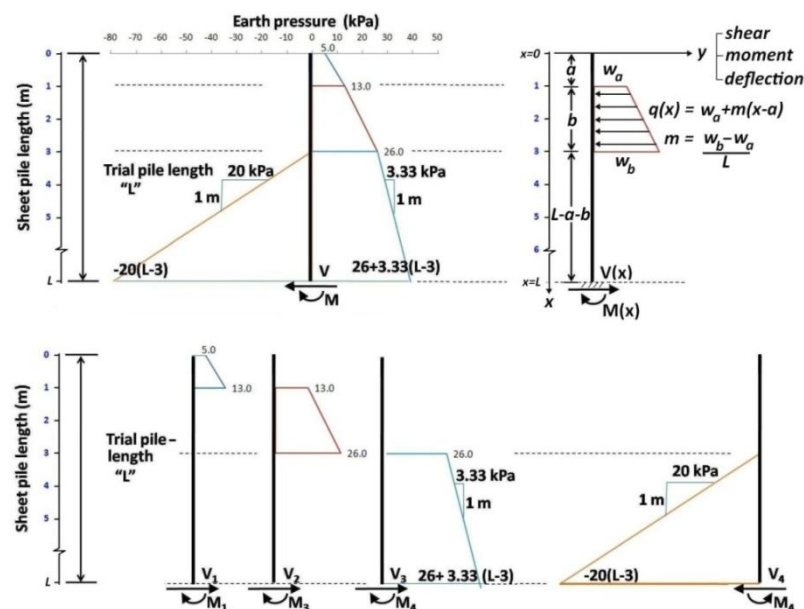


ภาพที่ 3 การแบ่งรูปตัดขวาง สร้างสมการสมดุลเพื่อวิเคราะห์ค่าแรงเฉือน และโมเมนต์คัตของหน้าตัดกำแพงเข็มพิค



ภาพที่ 4 สูตรคำนวณคานกรณีคานยื่นรับ นน.บรรทุกแผ่รูปสามเหลี่ยม

สำหรับวิธีการคำนวณหาค่าระยะฝังเริ่มต้น d_0 ด้วยสูตรสูตรคำนวณ อาศัยการวิเคราะห์โจทย์ปัญหา กำหนดเข็มน้ำที่ขังไม่ระบุความยาว แล้วหาค่าความยาวคาน L จนได้ตำแหน่งรูปตัดขวางเข็มน้ำที่มีค่าโมเมนต์ดัดเท่ากับศูนย์ ($M_3=0$) ก็จะได้ตำแหน่งของจุด O ที่ปลายจากรองรับของคานและค่าระยะฝังเริ่มต้น d_0 ก่อนนำไปใช้คำนวณค่าออกเบบระยะฝังปลายเข็มน้ำในชั้นดินทั้งหมด (d) จากข้อดีและประสิทธิภาพของวิธีการดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงพัฒนาแนวคิดนี้ให้ประยุกต์ใช้ได้กับรูปทรงของแรงดันที่เชื่อมต่อแบบเชิงเส้นที่แตกต่างกันไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งพบมากเป็นส่วนใหญ่ในงานออกแบบ โดยเลือกพัฒนาสูตรคำนวณคานกรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูวางอยู่กลางช่วงคาน เป็นรูปทรงแรงดันพื้นฐานในการคำนวณ ดังแนวคิดที่แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แนวคิดการประยุกต์ใช้สูตรคำนวณ คานกรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูอยู่กลางช่วงคาน ร่วมกับหลักการวางทับซ้อน เพื่อวิเคราะห์โจทย์ปัญหาคำแพงกันดินเข็มน้ำแบบคานยื่น

4. วิธีการดำเนินวิจัย

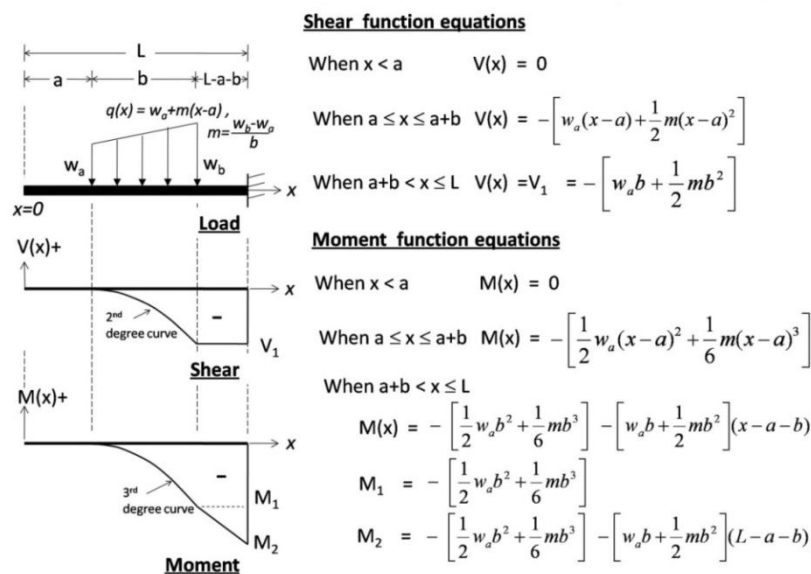
เริ่มจากการสร้างสูตรคำนวณคานกรณีคานยื่นที่มีน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน ที่ประกอบด้วยสูตรฟังก์ชันของค่าแรงเฉือน โมเมนต์คัต ต่อมานำสูตรฟังก์ชันทั้งหมดสร้างสเปรดชีตเพื่อคำนวณ และแสดงผลค่าแรงเฉือน โมเมนต์คัตของคานพ่วงเข็มพืด รวมทั้งใช้วิเคราะห์หาค่าระยะฝังปลายในชั้นดินและความยาวคานพ่วงที่ออกแบบ สุดท้ายเป็นขั้นตอนสอบเทียบผลวิเคราะห์คำนวณที่ได้

4.1 สูตรฟังก์ชันของแรงเฉือนและโมเมนต์คัต กรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน

กำหนดให้ x คือตัวแปรแสดงพิกัดบนคานตามแนวยาว เริ่มวัดจากปลายคานอิสระ ($x = 0$) สิ้นสุดที่ความยาว L ($x = L$) ด้านจากรองรับยึดแน่น น้ำหนักบรรทุกแผ่เริ่มต้นมีค่าขนาดน้ำหนักบรรทุก/ความยาว w_a ที่พิกัด $x = a$ แล้วเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราเชิงเส้น m จนมีค่า w_b บนช่วงคานยาว b เกิดสมการการกระจายน้ำหนักบรรทุกแผ่บนคานคือ

$$\text{เมื่อ } a \leq x \leq a+b \quad q(x) = w_a + m(x-a) \quad \text{โดย } m = (w_b - w_a)/b$$

จากรูปแบบการจัดวางน้ำหนักบรรทุกนี้ นำมาวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีโครงสร้างขั้นพื้นฐาน เช่น วิธีการอินทิเกรตสมการการกระจายน้ำหนักบรรทุกเทียบกับ x ทำให้เกิดสูตรฟังก์ชันของแรงเฉือน และโมเมนต์คัตแตกต่างกันบนช่วงคานทั้งสามส่วน โดยมีรายละเอียดของสูตรนำเสนอเป็นแผนผังพร้อมกำกับด้วยสมการค่าฟังก์ชันของค่าระยะ x ในภาพที่ 6

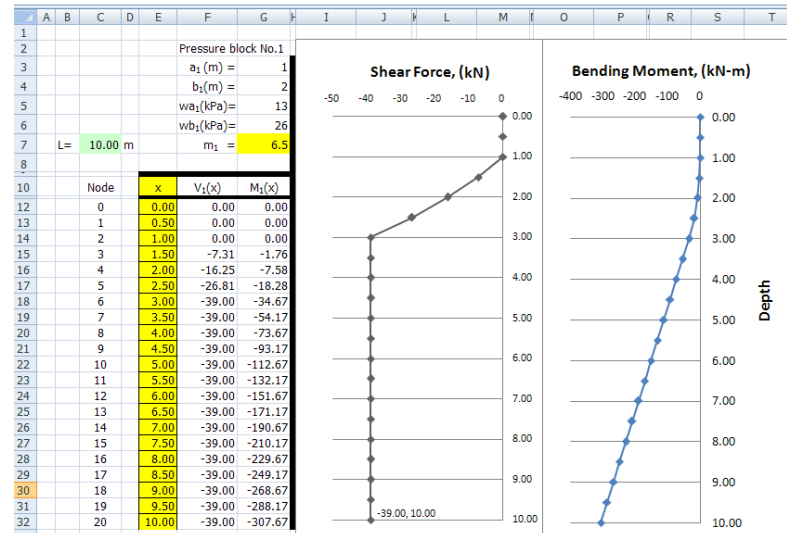


ภาพที่ 6 สูตรคำนวณคานแสดงรายละเอียดแผนผังแรงเฉือน โมเมนต์คัต และสูตรฟังก์ชันของคานยื่นกรณีที่มีน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน

4.2 การใช้สเปรดชีตคำนวณและแสดงผลค่าแรงเฉือน โมเมนต์คัต ของคานพ่วงเข็มพืด

เริ่มจากสร้างโดเมน x ในเซลล์สมัก C โดยแบ่งความยาวคานพ่วงระหว่างจุดปลายบน ($x = 0$) และจุดปลายล่าง ($x = L$) ออกเป็นส่วนย่อยจำนวนตามความเหมาะสม พิมพ์สูตรฟังก์ชันค่าแรงเฉือน โมเมนต์คัต ที่คำนวณจากค่า x ลงในเซลล์ของสมัก F และ G ที่สามารถเปลี่ยนความยาว L หรือให้สุ่มค่า L สำหรับแทนค่าในสูตรก็ได้ โดยกำหนดค่าไว้ในเซลล์ C7 ในภาพที่ 7 แสดงทั้งผลคำนวณและผังค่าแรงเฉือน และโมเมนต์เมื่อ

กำหนดพารามิเตอร์ a , b , w_a , w_b ของน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่ เท่ากับ 1 ม. 2 ม. 13 กิโลปาสกาล และ 26 กิโลปาสกาล ตามลำดับ และกำหนด $L = 10$ ม.



ภาพที่ 7 ตัวอย่างสเปรดชีตแสดงผลคำนวณและผลลัพธ์ค่าแรงเฉือน และค่าโมเมนต์คัตของกำแพงด้วยสูตรฟังก์ชัน

4.3 ตัวอย่างการแก้โจทย์ปัญหากำแพงกันดินเข็มพืดแบบคานยื่นด้วยสูตรคำนวณคาน

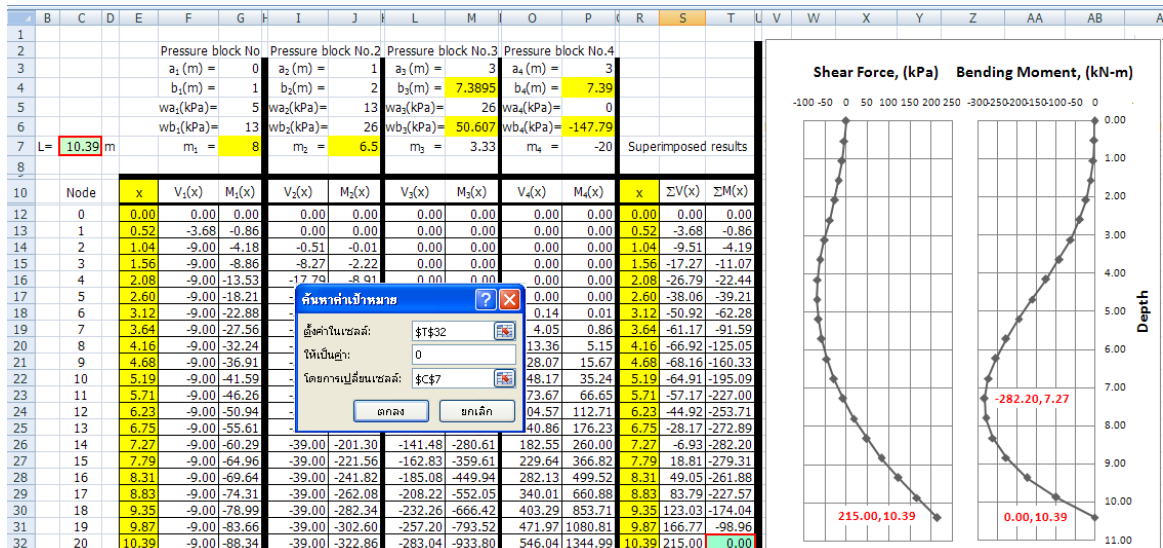
อ้างอิงโจทย์ปัญหาที่แสดงไว้ในภาพที่ 5 (Clayton et al., 1992) ซึ่งเป็นกำแพงกันดินเข็มพืดแบบคานยื่นที่มีแรงดันกระทำสองฝั่งกำแพงสามารถแบ่งย่อยแรงดันออกเป็นน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่รูปคางหมูจำนวน 4 ก้อน ต้องการทราบผลวิเคราะห์ระยะฝังปลายในชั้นดิน (d) ค่าแรงเฉือน และโมเมนต์คัตสูงสุดของหน้าตัดกำแพง เพื่อนำไปออกแบบ

ขั้นตอนแรกสร้างสเปรดชีตคำนวณผลค่าแรงเฉือนและโมเมนต์คัตของกำแพงขณะรับน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด โดยกำหนดพารามิเตอร์ a , b , w_a , w_b ของน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่รูปคางหมูทั้ง 4 ก้อนพร้อมทั้งระบุค่า L เริ่มต้นในเซลล์ C7 แล้วนำผลคำนวณค่าแรงเฉือน และโมเมนต์ทั้งหมดที่รวมได้จากหลักการวางทับซ้อนแสดงผลในเซลล์สมมติ S และ T

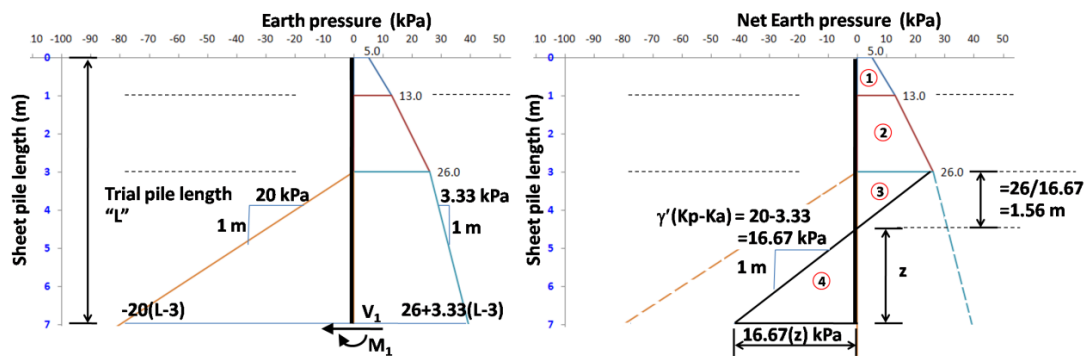
ขั้นตอนต่อมาวิเคราะห์หาค่าระยะฝังเริ่มต้น d_0 โดยวิธีสุ่มความยาว L ในเซลล์ C7 ให้ได้คำตอบค่าผลรวมโมเมนต์คัตที่จุดปลายล่างกำแพงในเซลล์ T32 = 0 ด้วยคำสั่งค้นหาเป้าหมาย (goal seek) ที่ติดตั้งไว้ในซอฟต์แวร์ excel ได้ผลคำตอบค่าความยาว L ที่ระบุที่จุดจุด O = 10.39 ม. เมื่อนำค่าไปใช้คำนวณต่อจะได้ผลค่าออกแบบระยะฝังปลายเสาเข็มพืดในชั้นดิน $d = 1.2d_0 = 1.2(L-h) = 1.2(10.39 - 3) = 8.87$ ม. โดยมีค่าความยาวเข็มพืดต่ำสุดที่ใช้ออกแบบก่อสร้าง = $8.87 + 3 = 11.87$ ม. ≈ 12 ม. รวมทั้งแสดงผลพล็อตค่าแรงเฉือน และโมเมนต์คัตของแนวกำแพงเหนือจุด O ดังภาพที่ 8

สำหรับผลวิเคราะห์โมเมนต์คัตสูงสุดของหน้าตัดเข็มพืดที่แน่นอนตรง คำนวณได้จากการสุ่มความยาว L ในเซลล์ C7 อีกครั้งด้วยคำสั่งค้นหาเป้าหมาย ให้ได้คำตอบค่าผลรวมแรงเฉือนที่จุดปลายล่างในเซลล์ S32 = 0 ผลคำนวณได้ค่าโมเมนต์คัตสูงสุด = -282.72 กิโลนิวตัน-ม./ม. ที่ความยาว 7.42 ม. วัดจากปลายบนกำแพง (หรือ

4.72 ม. ได้ระดับชุด) สดท้ายเมื่อสอบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีคำนวณด้วยสูตรคำนวณคานกับรายการคำนวณของวิธีสร้างเงื่อนไขความสมดุลและแก้สมการที่ละชั้นของโจทย์ปัญหาเดียวกัน ที่แสดงในภาพที่ 9 ปรากฏว่าได้ผลตรงกัน

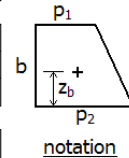


ภาพที่ 8 ตัวอย่างสเปรดชีตแสดงผลคำนวณความยาวเสาเข็มพืดที่สู้มคำนวณได้ค่าระยะฝังเริ่มต้น และฝังค่าแรงเฉือนและค่าโมเมนต์คัดของกำแพงเหนือจุด O



Design of Cantilever Sheet Pile Walls with Net Earth Pressure Diagrams

block no.	p ₁ (kPa)	p ₂ (kPa)	b (m)	z _b (m)	Lateral force (kN)	Moment arm (m)
Active side						
1	5	13		1	9.00	$z+1.56+2+0.43 = z+3.99$
2	13	26		2	39.00	$z+1.56+0.89 = z+2.45$
3	26	0	$26/(20-3.33) = 1.56$	1.04	20.28	$z+1.04$
Passive side						
4	0	16.67z		z	$8.335 z^2$	$0.33z$



$$\Sigma M_0 = 0, \quad 9.00(z+3.99) + 39.00(z+2.45) + 20.28(z+1.04) - 8.335z^2(0.33z) = 0$$

$$\text{From trial \& errors} \quad z = 5.86 \text{ m}$$

$$d_0 = 5.86 + 1.56 = 7.42 \text{ m}$$

$$d = 1.2d_0 = 1.2(7.42) = 8.90 \text{ m}$$

$$\text{Min. overall length of the sheet pile} = 8.90 + 3 = 11.90 \text{ m}$$

Finding location where zero shearing force ($V=0$),

$$\Sigma F_H = 0, \quad 9.00 + 39.00 + 20.28 - 8.335z^2 = 0$$

$$z = 2.862 \text{ m}$$

$$\text{Or at depth } 2.862 + 1.56 = 4.42 \text{ m below dredge line}$$

Calculating max. bending moment of the sheet pile

$$9.00(2.862+3.99) + 39.00(2.862+2.45) + 20.28(2.862+1.04) - 8.335 \times 2.862^2(0.33 \times 2.862) = 283.49 \text{ kN-m/m}$$

ภาพที่ 9 รายการคำนวณจากวิธีสร้างเงื่อนไขความสมดุลและแก้สมการที่ละชั้น ของโจทย์ปัญหาในภาพที่ 6

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด จากสูตรคำนวณคานกรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน เพื่อวิเคราะห์ออกแบบโจทย์ปัญหาคานกำแพงกันดินเข็มพืดแบบคานยื่น เมื่อสอบเทียบผลคำนวณพบว่าให้ผลวิเคราะห์ออกแบบค่าความยาวระยะฝังปลายเข็มพืดในชั้นดินและค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดของหน้าตัดเข็มพืดที่ถูกต้องเช่นเดียวกับผลวิเคราะห์ด้วยวิธีสร้างเงื่อนไขความสมดุลและแก้สมการที่ละชั้น และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างทั้งสองวิธีพบว่า วิธีการที่บทความนำเสนอนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าในด้านต่างๆดังรายละเอียดที่อภิปรายต่อไปนี้

- มีความยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า เนื่องจากมีกระบวนการเพียง 2 ขั้นตอนคือ ป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ของ นน.บรรทุกแผ่แต่ละก้อน และค่าความยาวกำแพงเริ่มต้น และขั้นตอนกำหนดเซลล์พร้อมกับการใช้คำสั่งค้นหาเป้าหมาย (goal seek) คำนวณผลลัพธ์ได้ทันที

- สามารถคำนวณและแสดงผลฟังก์ชันแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดตลอดความยาวแนวกำแพงหรือระบุตำแหน่งบนกำแพงที่ต้องการทราบค่าได้ เนื่องจากฟังก์ชันที่สร้างขึ้นมีความต่อเนื่องไม่ต้องสร้างสมการคำนวณออกมาทีละจุด

- มีความยืดหยุ่นปรับได้กับโจทย์ปัญหาที่มีขอบเขตรูปแรงดันหลายเหลี่ยมที่เปลี่ยนแปลงไม่ต่อเนื่องจำนวนมากได้ โดยการเพิ่มสมการคำนวณในสเปรดชีตให้เพียงพอ

6. ข้อเสนอแนะ

ปรับปรุงสูตรฟังก์ชันที่ตอบสนองการใช้งานกรณีออกแบบกำแพงกันดินเข็มพืดรับแรงดันหรือแรงกระทำรูปแบบอื่นๆ เช่น นน.บรรทุกแผ่รูปโค้งเรขาคณิต แรงกระทำเป็นจุดหรือโมเมนต์บนกำแพง การศึกษา

วิเคราะห์สูตรฟังก์ชันเพื่อคำนวณระยะ โกงตัวของแนวกำแพง หรือการประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ออกแบบ
โครงสร้างกำแพงกันดินประเภทฝังปลายในชั้นดินประเภทอื่น

7. รายการอ้างอิง

- Bowles, J. E. 1982. **Foundation Analysis and Design**, 3rd Edition. New York: McGraw Hill Book Company.
- Clayton, C. R. I., Woods R. I. and Milititsky J. 1993. **Pressure and Earth-Retaining Structures**, 2nd Edition. Florida: CRC Press.
- Goldberg, D. T., Jaworski, W. E. and Gordon, M. D. 1976. **FHWA-D-75-128: Lateral Support Systems and Underpinning**. Washington D.C: Federal Highway Administration.
- Padfield, C. J. and Mair, R. J. 1984. **CIRIA Report 104: Design of retaining walls embedded in stiff clays**. London: Construction Industry Research and Information Association.

การวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการลดความเค้นหนาแน่น
ของรูวงกลมเดี่ยวภายใต้ภาระดึงโดยรูช่วย

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF REDUCING STRESS CONCENTRATION
IN SINGLE CIRCULAR HOLE UNDER TENSION LOAD
BY AUXILIARY HOLES

วัชร เกรือรัฐติกาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : fengwkr@ku.ac.th

กรรมมันต์ ชูประเสริฐ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : fengkmc@ku.ac.th

ชาญเวช ศิลพิพัฒน์

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : fengchse@ku.ac.th

บทคัดย่อ

เมื่อชิ้นงานสี่เหลี่ยมมีรูกลมเดี่ยวภายใต้ภาระดึงตามแนวแกน การกระจายตัวของความเค้นจะไม่สม่ำเสมอตลอดหน้าตัดของชิ้นงาน ซึ่งนำมาให้เกิดความเสียหายของชิ้นงานที่ตรงขอบของรูเนื่องจากเกิดความเค้นหนาแน่นสูง วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมของรูช่วยเพื่อลดความเค้นที่เกิดขึ้น ตัวประกอบความเค้นหนาแน่นสามารถลดได้ถึง 14.3 % สำหรับใช้สองรูช่วย และ 18.8 % สำหรับใช้สี่รูช่วย โดยวาง ตำแหน่งของรูช่วย ทั้งสองด้านของรูวงกลมหลัก ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงตำแหน่ง ขนาดของรูช่วยทำให้การไหลของความเค้นราบเรียบขึ้นตลอดทั้งแผ่น

คำสำคัญ : ไฟไนต์เอลิเมนต์ ตัวประกอบความเค้นหนาแน่น รูวงกลมเดี่ยว ภาระดึง รูช่วย

ABSTRACT

When a single circular hole is introduced in a rectangular plate under axial tension load, the stress distribution is not uniform throughout the cross section. This will lead to failure of the component at the edge of the hole of high stress concentration. Finite element method is used to locate optimum auxiliary holes for the stress reduction. The stress concentration factor can be reduced up to 14.3 % for using two auxiliary holes and

18.8 % for using four auxiliary holes by locate auxiliary holes on either side of main circular hole. Results reveals that the introduction of the auxiliary holes at a optimum location and sizes helps to smooth flow of the stress pass through the plate.

KEYWORDS : Finite element, Stress concentration factor, single circular hole, Tension load, Auxiliary hole

1. บทนำ

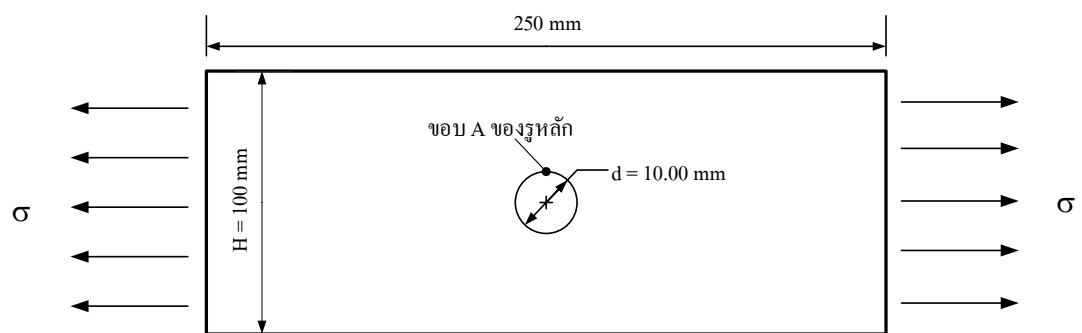
ในการออกแบบชิ้นงานต่าง ๆ ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเป็นส่วนสำคัญที่นักออกแบบต้องคำนึงถึงและมีความระมัดระวัง ชิ้นงานในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดพื้นที่หน้าตัด เมื่อมีภาระงานมากระทำ ทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นเกิดขึ้นในบริเวณนี้แสดงให้เห็นว่าการไหลของความเค้นไม่ราบเรียบ ความเค้นที่สูงขึ้น อาจเกิดความเสียหายของชิ้นงานได้ การศึกษาและออกแบบการทำให้ความเค้นบริเวณนี้ลดลง โดยไม่เปลี่ยนวัสดุหรือเพิ่มความหนาหรือขนาดของชิ้นงาน จึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อที่ไม่ทำให้ต้นทุนการผลิตชิ้นงานนี้สูงขึ้นมากเกินไป

ชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีรูวงกลมเดี่ยวอยู่ตรงกลางชิ้นงาน เมื่อมีภาระงานดึงตามแนวยาวของชิ้นงานมากระทำ ทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นบริเวณขอบของรูสูง Erickson และ Riley (1978) ได้ทำการทดลองใช้วิธีโฟโตอีลาสติก โดยให้ รูช่วยวางไว้ก่อนและหลังแนวของรูกลมเดี่ยวของชิ้นงานตามแนวของภาระงานที่กระทำ ผลที่ได้ช่วยลดความเค้นหนาแน่นของชิ้นงานลง 13% - 21% Meguid (1986) ได้ใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์หาวิธีการลดค่าความเค้นหนาแน่นของชิ้นงานที่มีรูตรงกลางของชิ้นงานที่รับภาระตามแนวแกนเดียวโดยใช้ 2 รูช่วย ทำให้ลดค่าความเค้นหนาแน่นได้ 7.5% - 11% Giare et al. (1989) นำเสนอเทคนิคการลดความเค้นหนาแน่นรอบรูวงกลมหลักของแผ่นสี่เหลี่ยมโดยใช้วงแหวนเสริมแรงรอบรูวงกลมหลักทำให้ลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (stress concentration factor) ลงจาก 2.72 เป็น 1 Meguid และ Gong (1993) ได้ศึกษาความเค้นหนาแน่นบริเวณรอบรูกลมเดี่ยวบนแผ่นสี่เหลี่ยมด้วยการทดลองโดยใช้วิธีโฟโตอีลาสติก และนำผลเปรียบเทียบกับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน Tenchev et al. (1995) นำเสนอวิธีการลดความเค้นหนาแน่นของรูวงกลมโดยการเสริมแผ่นเสริมแรงบริเวณรูวงกลมทั้งด้านบนและล่างทำให้บริเวณรอบรูวงกลม ทำให้บริเวณนั้นมีความหนาแน่นมากขึ้น Ulrich และ Moslehy (1995) นำเสนอวิธีการบาวนด์รี เอลิเมนต์ ใช้วิเคราะห์เพื่อลดความเค้นหนาแน่นของรูวงกลม และวงรีโดยใช้รูช่วย Toubal et al.(2005) ได้ศึกษาทดลองเพื่อหาความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบริเวณรูกลมของแผ่นคอมโพสิต Younis (2006) ได้ทำการทดลองโดยใช้วิธีโฟโตอีลาสติกศึกษาการประกอบความเค้นบริเวณรูกลมเพื่อลดความเค้นหนาแน่น Yang et al. (2010) ได้ใช้วิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ศึกษาความเค้นและความเครียดหนาแน่นของรูกลมบนแผ่นชิ้นงานหนาที่รับแรงดัด Sburlati (2013) ได้วิเคราะห์การลดความเค้นหนาแน่นบริเวณรูกลมของแผ่น โดยการสวมใส่แหวนลงไปในการวิเคราะห์

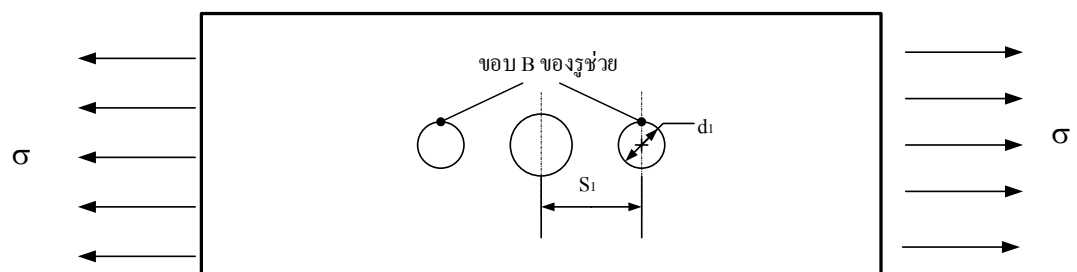
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบริเวณรูวงกลมเดี่ยวของชิ้นงานสี่เหลี่ยมที่รับภาระดึง และทำการวิเคราะห์เพื่อลดความเค้นหนาแน่นสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของรูโดยใช้รูช่วย 2 รู และ รูช่วย 4 รู โดยวางเรียงทั้งสองด้านของรูหลัก ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

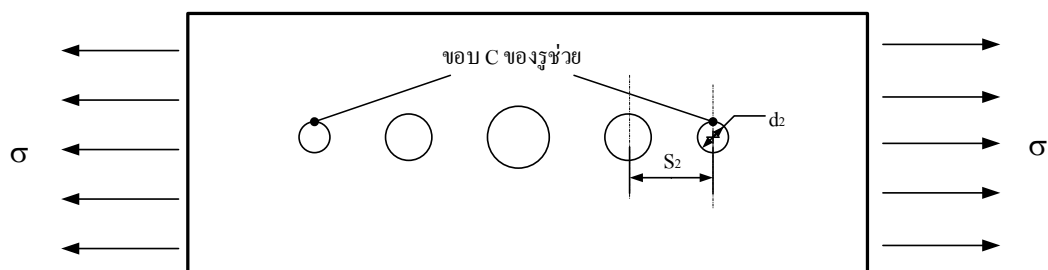
การวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ 3 รูปแบบ ดังแสดงตามรูปที่ 1 โดยรูปแบบ A มีรูหลักเพียงรูเดียว รูปแบบ B มีรูหลักและรูช่วย 2 รู รูปแบบ C มีรูหลักและรูช่วย 4 รู ในรูปแบบ A ทำการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณทางไฟไนต์เอลิเมนต์ กับผลการวิจัยของ Howland (1992-1930) เพื่อยืนยันรูปแบบโมเดลทางไฟไนต์เอลิเมนต์ว่าสามารถ นำไปใช้ในรูปแบบ B และ C ได้ รูปแบบ B ทำการเปลี่ยนขนาดของรูช่วย d_1 และระยะห่าง S_1 รูปแบบ C ทำการเปลี่ยนขนาดของรูช่วย d_2 และให้ระยะห่าง S_2 เท่ากับระยะห่าง S_1 ผลการคำนวณหาค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นจากรูปแบบ B และ C นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากรูปแบบ A ว่าสามารถลดค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นได้มากน้อยเพียงใด



(a) รูปแบบ A



(b) รูปแบบ B



(c) รูปแบบ C

รูปที่ 1 แสดง 3 รูปแบบที่ทำการวิเคราะห์

ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่น (K_m) คำนวณได้จากสมการที่ 1

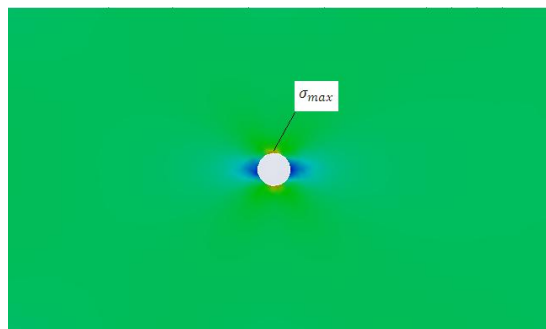
$$K_m = \sigma_{\max} / \sigma \quad (1)$$

โดย $\sigma_{\max}$ คือ ความเค้นดึงฉากสูงสุด

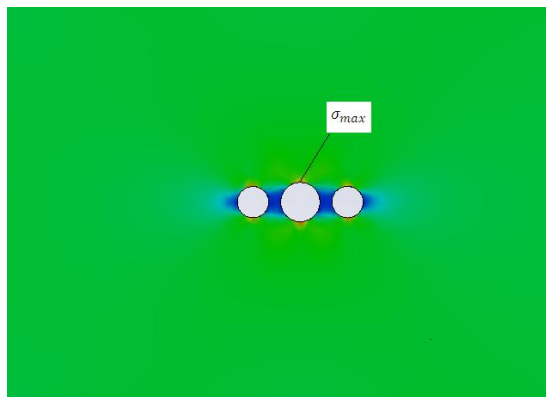
σ คือ ความเค้นดึงฉากที่คำนวณจากพื้นที่หน้าตัดของรูหลัก $A = t(H-d)$ โดยที่ t คือความหนาของชิ้นงาน

3. ผลการคำนวณและอภิปราย

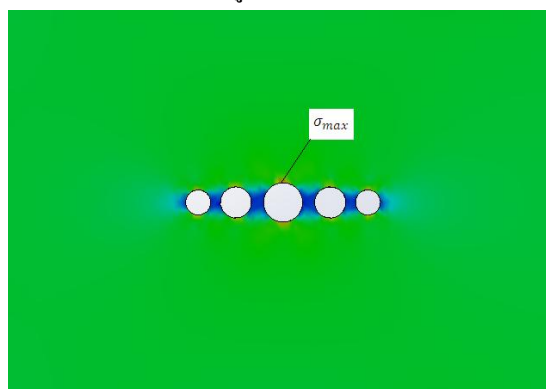
การคำนวณโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ $\sigma_{\max}$ มีค่าสูงสุดที่ขอบ A ของทั้ง 3 รูปแบบดังแสดงดังรูปที่ 2



รูปแบบ A



รูปแบบ B



รูปแบบ C

รูปที่ 2 แสดงผลความเค้นที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

รูปแบบ A ผลการคำนวณหาค่า K_{in} ได้ 2.73 ซึ่งค่าที่ได้ถือว่าใกล้เคียงมากกับ Howland (1992-1930) ที่ 2.72 ส่วนรูปแบบ B และ C ค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงค่า K_{in} ที่ขอบ A จากการใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ B

$S_1/d = 1.2$		$S_1/d = 1.4$		$S_1/d = 1.6$		$S_1/d = 1.8$		$S_1/d = 2.0$	
d_1/d	K_{in}	d_1/d	K_{in}	d_1/d	K_{in}	d_1/d	K_{in}	d_1/d	K_{in}
0.4	2.64	0.4	2.65	0.4	2.67	0.4	2.68	0.4	2.69
0.5	2.61	0.5	2.63	0.5	2.65	0.5	2.66	0.5	2.67
0.6	2.55	0.6	2.57	0.6	2.59	0.6	2.60	0.6	2.62
0.7	2.48	0.7	2.50	0.7	2.52	0.7	2.54	0.7	2.56
0.8	2.40	0.8	2.42	0.8	2.45	0.8	2.47	0.8	2.49
0.9	2.33	0.9	2.35	0.9	2.38	0.9	2.41	0.9	2.44

ตารางที่ 2 แสดงค่า K_{in} ที่ขอบ A ได้จากการใช้วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของรูปแบบ C

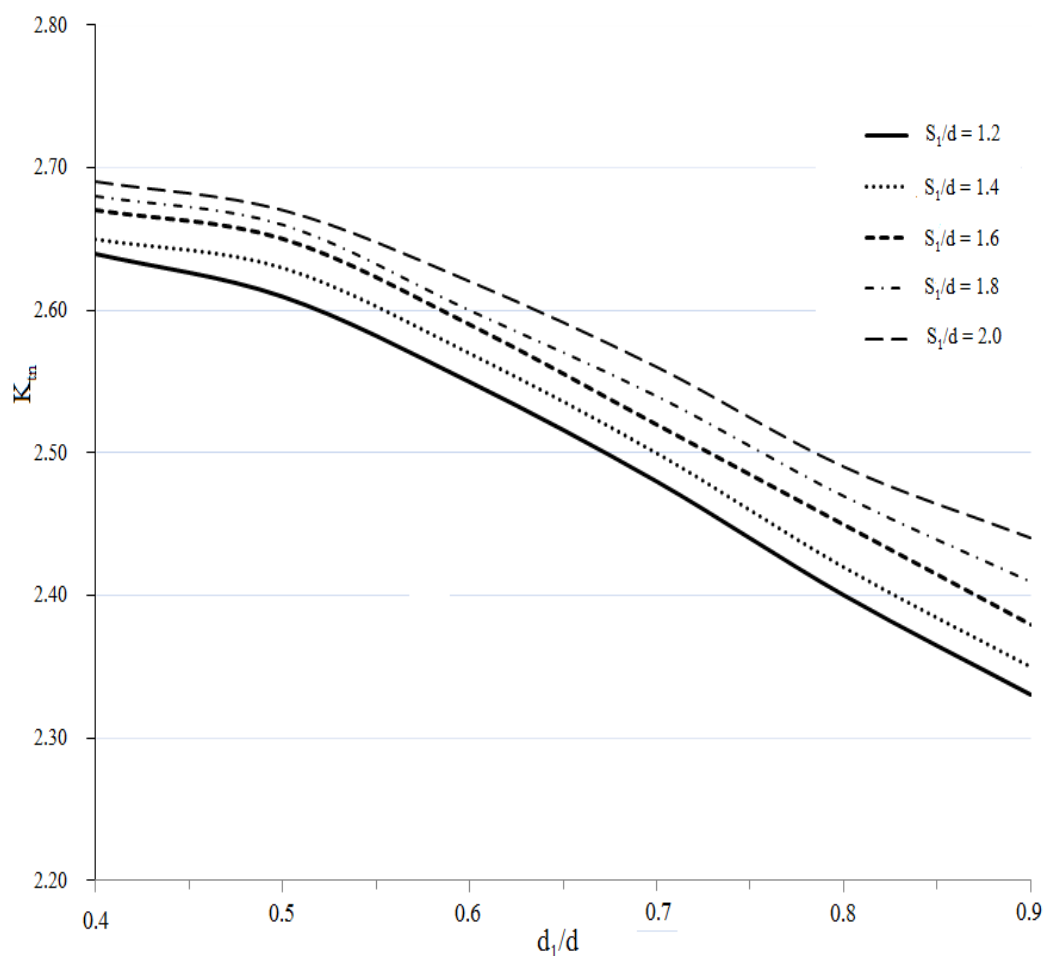
$S_1/d = 1.2$			$S_1/d = 1.4$			$S_1/d = 1.6$			$S_1/d = 1.8$			$S_1/d = 2.0$		
d_1/d	d_2/d	K_{in}	d_1/d	d_2/d	K_{in}	d_1/d	d_2/d	K_{in}	d_1/d	d_2/d	K_{in}	d_1/d	d_2/d	K_{in}
0.7	0.4	2.38	0.7	0.4	2.42	0.7	0.4	2.47	0.7	0.4	2.52	0.7	0.4	2.57
	0.5	2.35		0.5	2.39		0.5	2.43		0.5	2.48		0.5	2.53
	0.6	2.31		0.6	2.35		0.6	2.38		0.6	2.43		0.6	2.49
0.8	0.4	2.36	0.8	0.4	2.40	0.8	0.4	2.45	0.8	0.4	2.49	0.8	0.4	2.54
	0.5	2.33		0.5	2.38		0.5	2.42		0.5	2.46		0.5	2.50
	0.6	2.30		0.6	2.35		0.6	2.39		0.6	2.42		0.6	2.47
	0.7	2.28		0.7	2.31		0.7	2.35		0.7	2.38		0.7	2.43
0.9	0.4	2.32	0.9	0.4	2.36	0.9	0.4	2.40	0.9	0.4	2.45	0.9	0.4	2.51
	0.5	2.28		0.5	2.33		0.5	2.36		0.5	2.41		0.5	2.47
	0.6	2.26		0.6	2.30		0.6	2.33		0.6	2.37		0.6	2.42
	0.7	2.23		0.7	2.28		0.7	2.30		0.7	2.34		0.7	2.39
	0.8	2.21		0.8	2.25		0.8	2.28		0.8	2.32		0.8	2.36

จากตารางที่ 1 รูปแบบ B ที่ $S_1/d = 1.2$ เมื่อ d_1/d มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ ค่า K_{in} มีค่าลดลง และมีลักษณะความสัมพันธ์เดียวกัน กับที่ $S_1/d = 1.4$ $S_1/d = 1.6$ $S_1/d = 1.8$ และ $S_1/d = 2.0$ เมื่อพิจารณาที่ $d_1/d = 0.4$ เมื่อ S_1/d มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ ค่า K_{in} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และมีลักษณะความสัมพันธ์เดียวกัน กับที่ $d_1/d = 0.5$ $d_1/d = 0.6$ $d_1/d = 0.7$ $d_1/d = 0.8$ และ $d_1/d = 0.9$

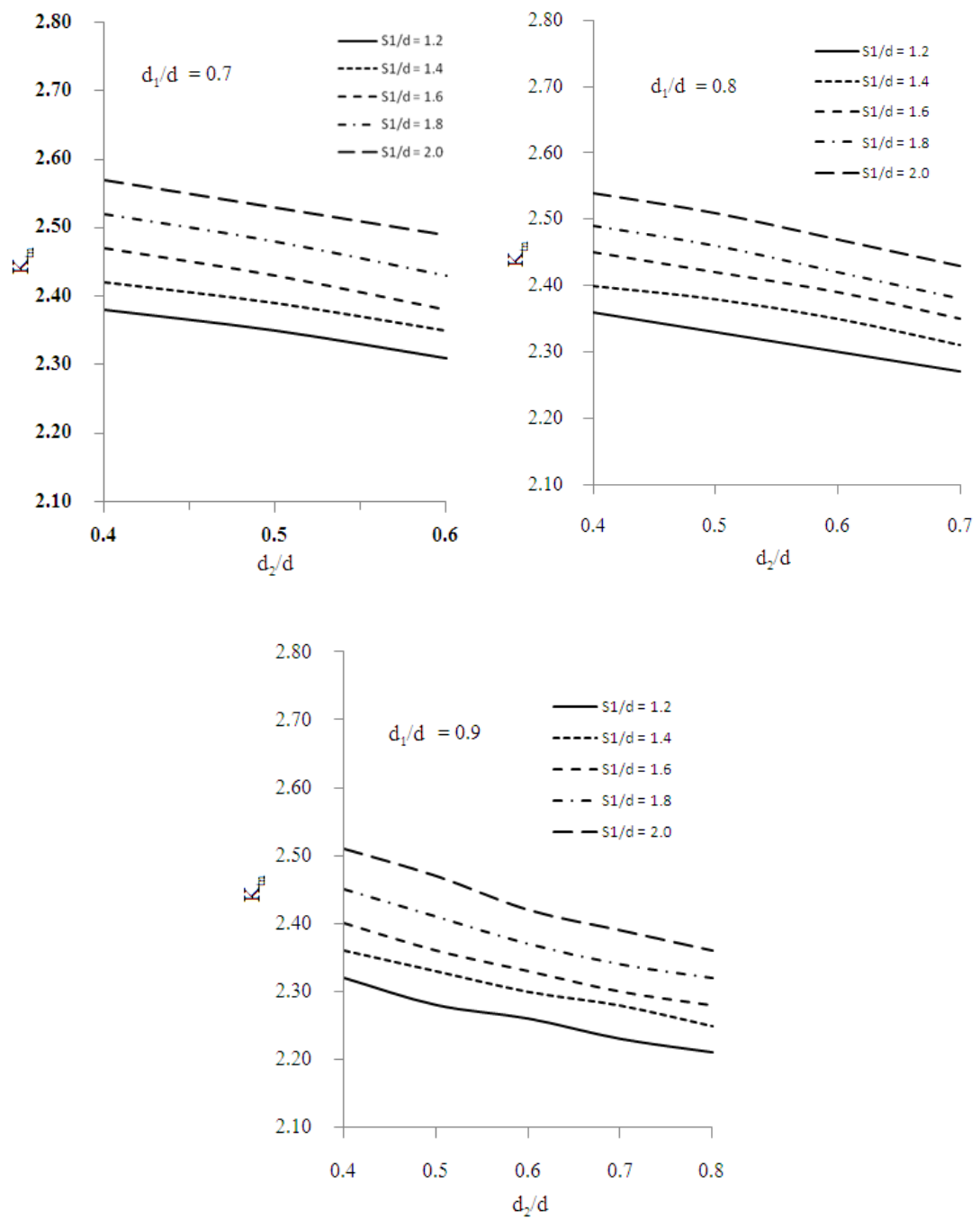
เมื่อนำค่าจากตารางที่ 1 มาสร้างกราฟจะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะห่างระหว่างรูหลัก และรูช่วย มีค่ามากขึ้นทำให้ค่า K_m มีแนวโน้มมากขึ้น ขณะที่ระยะห่างระหว่างรูหลักและรูช่วยคงที่ ขนาดของรูช่วยมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ค่า K_m มีแนวโน้มลดลง ค่า K_m ในรูปแบบ B นั้นสามารถลดลงได้สูงสุด 14.3 % เมื่อเปรียบเทียบกับ รูปแบบ A

จากตารางที่ 2 รูปแบบ C เมื่อค่า $S_1/d = 1.2$ $d_1/d = 0.7$ คงที่ ถ้า d_2/d มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่า K_m ลดลง และมีลักษณะความสัมพันธ์เดียวกันกับที่ $d_1/d = 0.8$ และ $d_1/d = 0.9$ แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่า S_1/d ค่า d_1/d คงที่ ถ้าค่า d_2/d มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า K_m ลดลงแต่เมื่อค่า d_1/d และค่า d_2/d มีค่าคงที่ ค่า K_m มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า S_1/d ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อนำค่าจากตารางที่ 2 มาสร้างกราฟ ได้ความสัมพันธ์ดังแสดงดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อขนาดรูช่วย d_1/d คงที่ ขนาดรูช่วย d_2/d มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า K_m มีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างระหว่างรูหลักและรูช่วยเพิ่มขึ้น ค่า K_m มีแนวโน้มสูงขึ้น ค่า K_m ในรูปแบบ C นั้นสามารถลดลงได้สูงสุด 18.8 % เมื่อเทียบกับรูปแบบ A



รูปที่ 3 แสดงค่าระหว่าง K_m กับ d_1/d ที่ค่าอัตราส่วน S_1/d ต่างๆ ของรูปแบบ B



รูปที่ 4 แสดงค่าระหว่าง K_m กับ d_2/d ที่ค่าอัตราส่วน S_1/d ต่าง ๆ ของรูปแบบ C

4. สรุปผลการวิจัย

วิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความเค้นหนาแน่น ของชิ้นงานสี่เหลี่ยม ที่มีรูกลมอยู่ตรงกลาง ภายใต้การดึงมากระทำ การลดค่าความเค้นหนาแน่นได้ถูกนำเสนอโดยใช้รูช่วยในรูปแบบ B และ รูปแบบ C ตามลำดับ ผลที่ได้ ค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นในรูปแบบ B สามารถลดลงได้สูงสุด 14.3 % และในรูปแบบ C สามารถลดลงได้สูงสุด 18.8 % เทียบกับค่าตัวประกอบความเค้นหนาแน่นในรูปแบบ A เมื่อตัวประกอบความเค้นหนาแน่นลดลง ช่อมแสดงให้เห็นว่าระดับความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในชิ้นงานลดลงด้วย หมายถึง การไหลของความเค้นในชิ้นงานราบเรียบขึ้น ส่งผลให้อายุความล้าของชิ้นงานดีขึ้น

5. รายการอ้างอิง

- Erickson, P.E., and Riley, W.F. 1978. Minimizing stress concentrations around circular holes in uniaxially loaded plates. **Experimental Mechanics**. 97-100.
- Meguid, S. A . 1986. Finite element analysis of defence hole system for the reduction of stress concentration factor in a uni-axially loaded plate with two coaxial holes. **Engineering fracture mechanics**. 25 (4): 403-413.
- Giare, G.S. and Shabahang, R. 1989. The Reduction of stress concentration around the hole in an isotropic plate using composite material. **Engineering fracture mechanics**. 32(5): 757-766.
- Meguid, S.A. and Gong, S.X. 1993. Stress concentration around interacting circular holes: A comparison between theory and experiments. **Engineering Fracture Mechanics**. 44(2): 247-256.
- Tenchev, R.T., Nygard, M.K. and Echtermeyer, A. 1995. Design procedure for reducing the stress concentration around circular holes in laminated composites. **Composites**. 26(12): 815-828.
- Ulrich, T.W. and Moslesh, F.A. 1995. A boundary element method for stress reduction by optimal auxiliary holes. **Engineering Analysis with Boundary Elements**. 15: 219-233.
- Toubal, L., Karama, M. and Lorrain, B. 2005. Stress concentration in a circular hole in composite plate. **Composite Structures**. 68: 31-36.
- Younis, N.T. 2006. Assembly stress for the reduction of stress concentration. **Mechanics Research Communications**. 33: 837-845.
- Yang, Z., Kim, C.B., Beom, H.G. and Cho, C. 2010. The stress and strain concentrations of out-of-plane bending plate containing a circular hole. **International Journal of Mechanical Sciences**. 52: 836-846.
- Sburlati, R. 2013. Stress concentration factor due to a functionally graded ring around a hole in an isotropic plate. **International Journal of Solids and Structures**. 50: 3649-3658
- Howland, R. C. J., 1929-1930. On the stress in the neighborhood of a circular hole in a strip under tension. *Philosophical Transactions of the Royal (London) Society A*. 229: 67

**การประยุกต์สูตรคำนวณหาเพื่อประเมินระยะโก่งตัวของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบ
แผ่นผนังแบบคานยื่น**

**ESTIMATION OF CANTILEVERED SOLDIER PILE WALL DEFLECTIONS
USING BEAM FORMULAS**

ผศ.ชัชวาลย์ พูลลาภพานิช

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: chatshawal.po@spu.ac.th

บทคัดย่อ

นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันระยะโก่งตัวของคานยื่นในรูปแบบสูตรคำนวณหาใช้ปรับปรุงระเบียบวิธีการคำนวณดั้งเดิมที่เสนอโดย CALTRANS เพื่อประเมินระยะโก่งตัวของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย การวิเคราะห์สูตรฟังก์ชันระยะโก่งตัวของคาน การสร้างสูตรในสเปรดชีต และการคำนวณวิเคราะห์และสอบเทียบผลคำนวณ สรุปผลวิจัยพบว่าวิธีคำนวณที่บทความนำเสนอให้ผลคำตอบระยะโก่งตัวของกำแพงตรงกับวิธีดั้งเดิม มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ผลคำนวณแม่นยำตรงตามทฤษฎีมากขึ้น สะดวกและประหยัดเวลาคำนวณมากขึ้น

คำสำคัญ: โครงสร้างกำแพงกันดิน กำแพงกันดินประเภทฝังปลายในชั้นดิน กำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนัง ระยะโก่งตัวของเสาเข็ม

ABSTRACT

This paper presents the applications of beam formulas in implementing and improving a method for deflection estimation of cantilevered soldier pile wall which originally proposed by CALTRANS. The paper consists of the beam deflection functions developing, the wall deflection calculating by spreadsheets, and the result analysis and discussion. The proposed method shows the more precise results and efficiency than the original method.

KEYWORDS : Earth retaining structures, Embedded retaining wall, Cantilevered soldier pile wall, Pile deflections

1. บทนำ

ในประเทศสหรัฐอเมริกา โครงสร้างกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น (cantilevered soldier - pile wall) เป็นระบบกำแพงกันดินประเภทหนึ่งที่ยอมรับใช้ในงานเสริมเสถียรภาพของคันทางรถไฟ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการนำมาใช้งาน รวมทั้งเป็นระบบโครงสร้างที่ติดตั้งและรื้อถอนได้ง่าย สามารถใช้ประโยชน์ทั้งในรูปแบบโครงสร้างถาวรหรือชั่วคราว ในขั้นตอนการก่อสร้างนอกจากทำการวิเคราะห์เสถียรภาพ (stability analysis) เพื่อตรวจสอบความปลอดภัยต่อการเกิดพิบัติรูปแบบต่างๆ อีกส่วนสำคัญที่ต้องตรวจสอบควบคู่กันคือ การวิเคราะห์การเคลื่อนตัว (deformation analysis) ระยะการเคลื่อนตัวหรือโก่งตัวของแนวกำแพงจะถูกประเมินเพื่อตรวจสอบความสามารถให้บริการ (serviceability) ป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับยานพาหนะ ระบบจราจร และสาธารณูปโภคที่ปลูกสร้างและติดตั้งบนคันทาง

บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการคำนวณแนวทางใหม่ เพื่อเป็นทางเลือกในการประเมินระยะโก่งตัวของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นแทนวิธีดั้งเดิมที่เสนอโดย State of California, Department of Transportation (CALTRANS) วิธีคำนวณที่ปรับปรุงขึ้นนี้ วิศวกรสามารถคำนวณได้สะดวกรวดเร็วขึ้น ได้ผลคำนวณตรงกับวิธีดั้งเดิม รวมทั้งสามารถจัดทำเครื่องมือช่วยคำนวณขึ้นเองด้วยซอฟต์แวร์สำนักงานที่มีอยู่ทั่วไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันระยะโก่งตัวในรูปแบบสูตรคำนวณคาน (beam formula) กรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่นรูปคางหมวกกลางช่วงคาน มาใช้ปรับปรุงวิธีการคำนวณเพื่อประเมินระยะโก่งตัวของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ได้ผลคำนวณตรงกับวิธีดั้งเดิมที่เสนอ โดย CALTRANS (2011)

3. แนวคิดและทฤษฎี

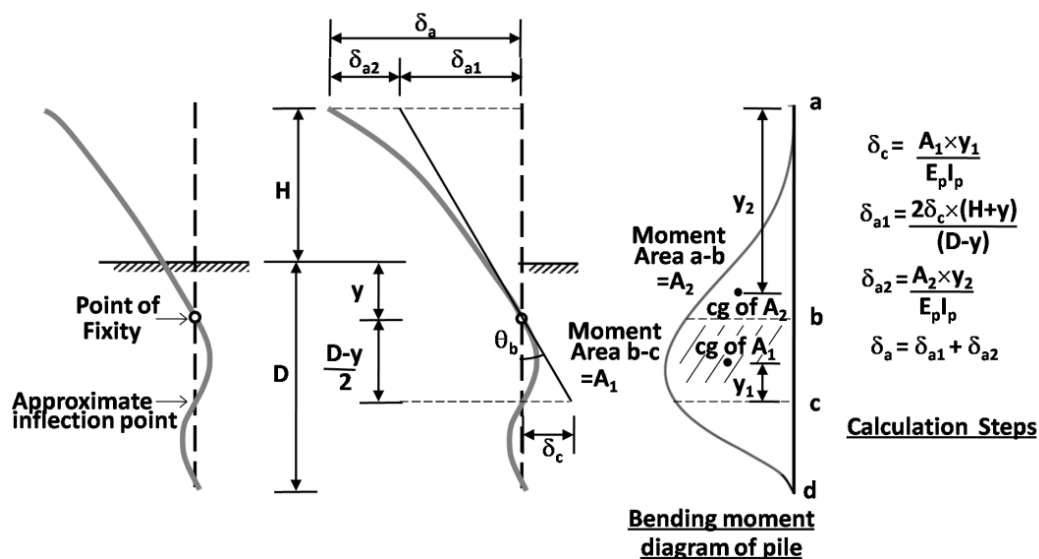
3.1 วิธีคำนวณระยะโก่งตัวของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นที่เสนอโดย CALTRANS (2011)

CALTRANS (2011) แนะนำวิธีประมาณค่าระยะโก่งตัวของ แนวกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นด้วยวิธีวิเคราะห์โครงสร้างระดับพื้นฐานที่ใช้ทั่วไป เช่น วิธีคานคอนจูเกต (conjugate beam method) ประยุกต์เข้ากับสมมุติฐานรูปแบบการโก่งตัวของเสาเข็มยาว (long pile) รับแรงกระทำแนวข้างที่วิเคราะห์ด้วยทฤษฎีคานวางบนฐานรากยืดหยุ่น (beam on elastic foundation) ที่มีข้อบ่งชี้ว่าแนวการดัด (elastic line) ของเสาเข็มที่อนบนส่วนที่ฝังได้ผิวดินโก่งตัวแบบคานยื่นออกจากตำแหน่งจุดที่ระยะโก่งตัวเป็นศูนย์ (point of zero deflection / point of fixity, PoF) อยู่ที่ความลึกใต้ระดับผิวดิน (y) ที่ประมาณค่าได้จากทฤษฎีและข้อมูลผลวัดในภาคสนาม ตามด้วยรูปแนวคดโค้งแอ่นซ้ำหรือขาสลับกันไปดังแสดงในภาพที่ 1 จากรูปแบบพฤติกรรมดังกล่าว CALTRANS ได้นำเสนอวิธีประมาณค่าระยะโก่งตัวสูงสุดที่ปลายบนกำแพง (δ_u) มีลำดับขั้นตอนการคำนวณดังนี้

- วิเคราะห์โจทย์ปัญหา กำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นด้วยหลักการขีดจำกัดสภาพสมดุล (limiting equilibrium) เพื่อออกแบบความยาวระยะฝังปลายเสาเข็มในชั้นดิน รวมทั้งวิเคราะห์แผนภาพ

โมเมนต์ดัด (bending moment diagram, BMD) ตลอดความยาวเสาเข็ม ภายหลังเมื่อออกแบบขนาดรูปตัดและเกรดของเหล็กรูปพรรณแล้ว จะได้ค่าสติเฟนส $E I$ เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณระยะโก่งตัว

- กำหนดตำแหน่งจุดที่ระยะแอ่นตัวของเสาเข็มเป็นศูนย์ (จุด PoF) โดยวัดระยะ y จากระดับผิวดินลงมาตามแนวแกนเสาเข็ม คิดเป็นสัดส่วนกับความยาวระยะฝังปลายเสาเข็ม (D) มีค่าระหว่าง 0 ถึง 0.75 D โดย CALTRANS แนะนำค่า 0.25 D สำหรับเสาเข็มที่ฝังปลายในดินแข็งหรือแน่นระดับมากถึงปานกลาง (most stiff to medium dense soils) และระดับลึก 0.75 D สำหรับดินเหนียวอ่อนหรือทรายหลวม



ภาพที่ 1 วิธีประมาณค่าระยะโก่งตัวของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นที่เสนอโดย CALTRANS (2011)

- แบ่งครึ่งระยะระหว่างจุด PoF กับปลายล่างเสาเข็มที่จุด c ดังในภาพที่ 1 ชิดแบ่งพื้นที่ BMD ของเสาเข็มออกเป็นสามส่วนคือ ช่วง a-b ช่วง b-c และ ช่วง c-d ทำการคำนวณพื้นที่ของ BMD ช่วง a-b (พื้นที่ A_2) และ b-c (พื้นที่ A_1) และคำนวณตำแหน่ง cg ของพื้นที่ดังกล่าวได้ระยะ y_1 และ y_2

- คำนวณระยะโก่งตัว δ_c เพื่อหาค่าความชันของแนวดัดโค้งเสาเข็มที่จุด PoF (θ_b) จากวิธีการคอนจูเกตด้วยการคำนวณค่าโมเมนต์ที่เกิดจากผลคูณของพื้นที่ A_1 รอบจุด โดยสูตรคำนวณ $\delta_c = \frac{A_1 \times y_1}{E I}$

- คำนวณระยะโก่งตัว δ_{a1} จากรูปสามเหลี่ยมคล้าย รวมทั้งคำนวณระยะ δ_{a2} จากวิธีการคอนจูเกตด้วยการคำนวณค่าโมเมนต์ที่เกิดจากผลคูณของพื้นที่ A_2 รอบจุด a โดยสูตรคำนวณ $\delta_{a1} = \frac{2\delta_c \times (H+y)}{(D-y)}$ และ $\delta_{a2} =$

$$\frac{A_2 \times y_2}{E I}$$

สุดท้ายคำนวณระยะโก่งตัวสูงสุดที่ปลายด้านบนของกำแพงได้จากผลรวมของระยะทั้งสอง $\delta_a = \delta_{a1} + \delta_{a2}$

4. วิธีการดำเนินวิจัย

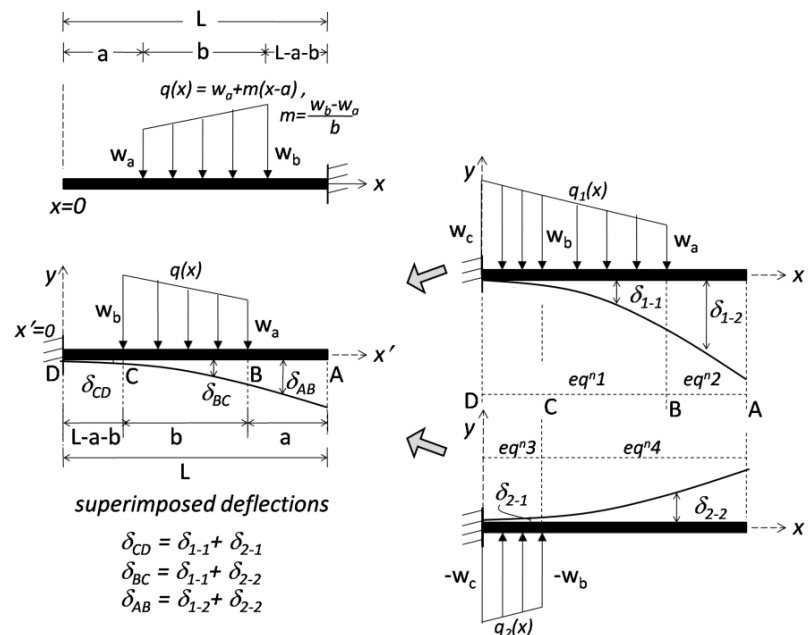
เริ่มจากการวิเคราะห์โครงสร้างคานยื่นเพื่อสร้างสูตรฟังก์ชันระยะโค้งตัวกรณีคานรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน ต่อมนำสูตรฟังก์ชันสร้างสเปรดชีตเพื่อใช้เป็นเครื่องมือคำนวณ สุดท้ายเป็นขั้นตอนสอบเทียบผลคำนวณระหว่างวิธีที่บทความวิจัยนี้นำเสนอ กับผลคำนวณจากวิธีดั้งเดิมที่เสนอ โดย CALTRANS ด้วยโจทย์ปัญหาเดียวกัน

4.1 การวิเคราะห์หาสูตรฟังก์ชันของระยะโค้งตัวกรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน

กำหนดให้ x คือตัวแปรแสดงพิกัดบนคานตามแนวยาว เริ่มวัดจากปลายคานอิสระ ($x = 0$) สิ้นสุดที่ความยาว L ($x = L$) ด้านจตุรกรับยึดแน่น น้ำหนักบรรทุกแผ่เริ่มต้นมีค่าขนาดต่อความยาว w_a ที่พิกัด $x = a$ แล้วเปลี่ยนแปลงด้วยอัตราเชิงเส้น m จนมีค่า w_b บนช่วงคานยาว b เกิดสมการการกระจายน้ำหนักบรรทุกแผ่บนคานคือ

$$q(x) = w_a + m(x-a) \quad \text{เมื่อ } a \leq x \leq a+b \quad \text{โดยค่า } m = (w_b - w_a)/b$$

ค่าระยะโค้งตัวของคานที่รับภาระน้ำหนักบรรทุก $q(x)$ นี้สามารถวิเคราะห์ผลออกเป็นรูปแบบสูตรฟังก์ชันของตัวแปร x (หรือ x') ด้วยทฤษฎีวิเคราะห์โครงสร้างระดับพื้นฐาน แต่เนื่องจากรูปแบบน้ำหนักบรรทุกวางไม่เต็มช่วงคานจึงนำหลักการวางซ้อนทับ (superposition principle) เข้ามารวมประยุกต์ใช้ โดยการซ้อนทับค่าระยะโค้งตัวของคานยื่น 2 ตัวขณะรับน้ำหนักบรรทุกแผ่ $q_1(x)$ และ $q_2(x)$ ที่มีเงื่อนไขแรงกระทำบนคาน $q(x) = q_1(x) + q_2(x)$ ดังแสดงในภาพที่ 2 ได้ผลเฉลยในรูปผลรวมระยะโค้งตัวจากคานแต่ละตัว นั่นคือ $\delta = \delta_1 + \delta_2$ โดย δ_1 และ δ_2 คือ ระยะโค้งตัวของคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่ $q_1(x)$ และ $q_2(x)$ ตามลำดับ ซึ่งระยะโค้งตัวคานแต่ละกรณี ต่างก็มีสมการฟังก์ชันแบ่งย่อยช่วงคานออกเป็น 2 Segment ดังนั้นจึงเพิ่ม subscript เป็น δ_{1-1} δ_{1-2} δ_{2-1} และ δ_{2-2} เพื่อระบุสมการอธิบายสูตรให้ครบถ้วน สมการฟังก์ชันทั้งหมดได้แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 1 ในรูปฟังก์ชันของตัวแปร x' เพื่อให้สูตรฟังก์ชันคำนวณระยะโค้งตัว สั้นกระชับ คำนวณได้ง่าย ระบบพิกัด x' นี้เริ่มวัดจากปลายจตุรกรับยึดแน่น ($x'=0$) ไปยังด้านปลายยื่น ($x'=L$) ซึ่ง สามารถแปลงค่าจากระบบพิกัดเดิมด้วยสมการความสัมพันธ์ $x' = L - x$



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ค่าระยะโก่งตัวของคานยื่นที่รับภาระน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่ $q(x)$ ด้วยหลักการวางทับซ้อน

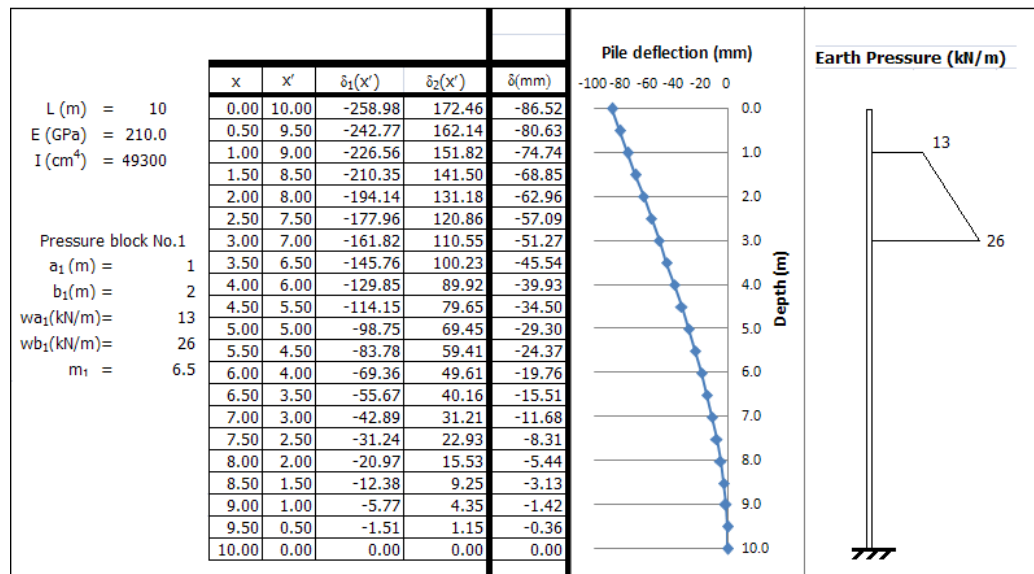
ตารางที่ 1 สมการสูตรฟังก์ชันระยะโก่งตัวของคานยื่นรับภาระน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่ $q_1(x)$ และ $q_2(x)$ ที่เป็น
ส่วนประกอบนำมาซ้อนทับกันได้ ในสูตรคำนวณระยะโก่งตัวของคานยื่นขณะรับภาระน้ำหนักบรรทุก
แผ่ $q(x)$

deflection of cantilever beam subjected to distributed load $q_1(x)$	deflection of cantilever beam subjected to distributed load $q_2(x)$
Segment1, $(0 \leq x' \leq L-a)$; $\delta_{1-1} = -\frac{1}{EI} \left\{ \begin{aligned} &\frac{w_a x'^2}{24} [6(L-a)^2 - 4(L-a)x' + x'^2] \\ &+ \frac{m x'^2}{120} [10(L-a)^3 - 10(L-a)^2 x' + 5(L-a)x'^2 - x'^3] \end{aligned} \right\}$ Segment2, $(L-a < x' \leq L)$; $\delta_{1-2} = -\frac{1}{EI} \left\{ \begin{aligned} &\left[\frac{w_a (L-a)^4}{8} + \frac{m(L-a)^5}{30} \right] \\ &+ \left[\frac{w_a (L-a)^3}{6} + \frac{m(L-a)^4}{24} \right] \times (x' - L + a) \end{aligned} \right\}$	Segment, $(0 \leq x' \leq L-a-b)$; $\delta_{2-3} = -\frac{1}{EI} \left\{ \begin{aligned} &\frac{w_b x'^2}{24} [6(L-a-b)^2 - 4(L-a-b)x' + x'^2] \\ &+ \frac{m x'^2}{120} [10(L-a-b)^3 - 10(L-a-b)^2 x' + 5(L-a-b)x'^2 - x'^3] \end{aligned} \right\}$ Segment2, $(L-a-b < x' \leq L)$; $\delta_{2-4} = -\frac{1}{EI} \left\{ \begin{aligned} &\left[\frac{w_b (L-a-b)^4}{8} + \frac{m(L-a-b)^5}{30} \right] \\ &+ \left[\frac{w_b (L-a-b)^3}{6} + \frac{m(L-a-b)^4}{24} \right] \times (x' - L + a + b) \end{aligned} \right\}$

4.2 การใช้สเปรดชีตคำนวณและแสดงผลค่าระยะโก่งตัวด้วยสูตรฟังก์ชัน

ในภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างสเปรดชีตสำหรับคำนวณและแสดงผลค่าระยะโก่งตัวของคานยื่นจากสูตรฟังก์ชันที่จัดทำขึ้น เริ่มจากสร้างเซลล์เพื่อกำหนดค่าความยาวเสาเข็ม (L) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของเสาเข็ม (E) และโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดเสาเข็ม (I) สำหรับแทนค่าในสูตร ต่อมาสร้างสมการของเซลล์ค่าโดเมน x โดยแบ่งความยาวเสาเข็มระหว่างจุดปลายบน ($x=0$) และจุดปลายล่าง ($x=L$) ออกเป็น 20 ส่วน สร้างสมการของเซลล์ที่คำนวณค่าโดเมน x' (สูตรคำนวณ $x' = L - x$) รวมทั้งสมการของเซลล์ที่พิมพ์สูตรฟังก์ชันเพื่อคำนวณระยะโก่งตัว δ_1 และ δ_2 และผลรวม δ ตามลำดับ นอกจากนี้ในภาพที่ 3 ได้นำเสนอตัวอย่างผลคำนวณและผลลัพธ์ต่อค่า

ระยะโค้งตัวของคานยื่นรับนน.บรรทุกแผ่รูปกางหมุ $q(x)$ เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ a , b , w_u , w_b ของนน.บรรทุกแผ่เท่ากับ 1 ม. 2 ม. 13 กิโลนิวตัน/ม. และ 26 กิโลนิวตัน/ม. บนคานที่ได้กำหนดคุณสมบัติค่า $L = 10$ ม. $E = 210$ จิกะปาสกาล $I = 49300$ ซม.⁴ ตามลำดับ



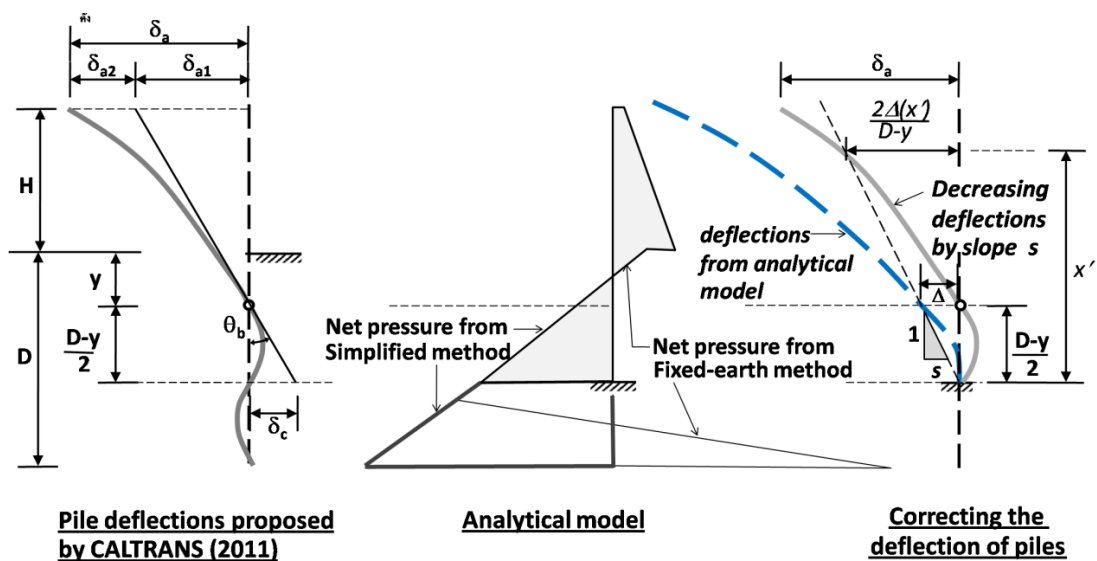
ภาพที่ 3 ตัวอย่างสเปรดชีตสำหรับคำนวณและแสดงผลลิตค่าระยะโค้งตัวของแนวนคานยื่นด้วยสูตรฟังก์ชัน

4.3 การประยุกต์สูตรฟังก์ชันเพื่อคำนวณระยะโค้งตัวของเสาเข็มกำแพงกันดินที่เสนอโดย CALTRANS

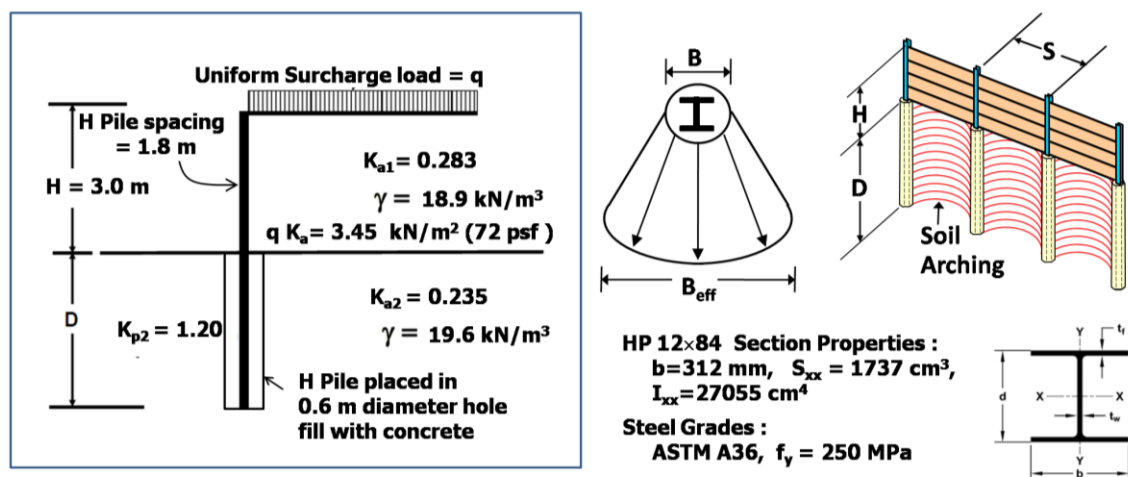
นำสเปรดชีตคำนวณระยะโค้งตัวของเสาเข็ม ด้วยแบบจำลองโครงสร้างคานยื่นมีจุดรองรับยึดแน่นที่จุดแบ่งครึ่งความยาวระหว่างจุด PoI กับปลายล่างเสาเข็ม ที่จุด c โดยมีน้ำหนักบรรทุกกระทำบนคานในทิศแนวราบเป็นค่าแรงดันดินสุทธิ (net earth pressure) ของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นดังแสดงในรูปที่ 4 ผลคำนวณระยะโค้งตัวที่ได้ี้ จะถูกปรับลดความชันให้ได้แนวการคัดสอดคล้องกับสมมติฐานของ CALTRANS ที่ค่าระยะโค้งตัวที่จุด PoI และจุด c เท่ากับศูนย์ โดยวิธีหักลบระยะโค้งตัวทุกจุดในแนวราบด้วยระยะ $= \frac{2A(x')}{D-y}$ ดังในภาพที่ 4 จะได้ผลเฉลยระยะโค้งตัวแนวเสาเข็มที่สอดคล้องกัน

4.4 การสอบเทียบผล

ภาพที่ 5 แสดงโจทย์ปัญหาที่เลือกมาเพื่อใช้สอบเทียบผลคำนวณค่าระยะโค้งตัวของเสาเข็มในระบกกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นในชั้นดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (cohesionless soil) คัดแปลงมาจากตัวอย่างคำนวณ example 6-3 ในเอกสาร Trenching and Shoring Manual (2011) ที่จัดทำโดย CALTRANS ค่าต่างๆที่กำหนด



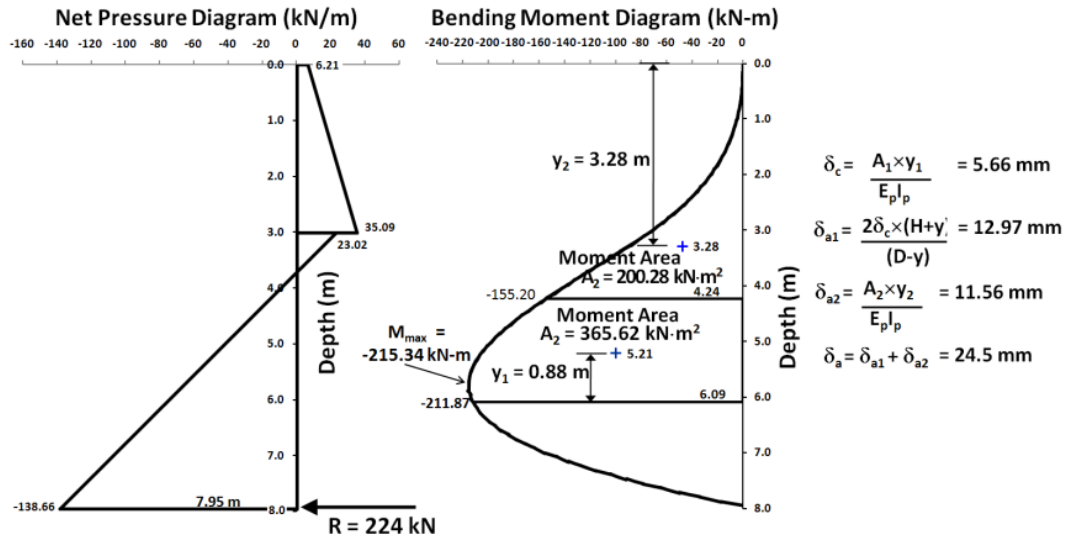
ภาพที่ 4 แบบจำลองโครงสร้างคานยื่น และ วิธีปรับแก้ ที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณระยะ โกงตัวของเสาเข็ม



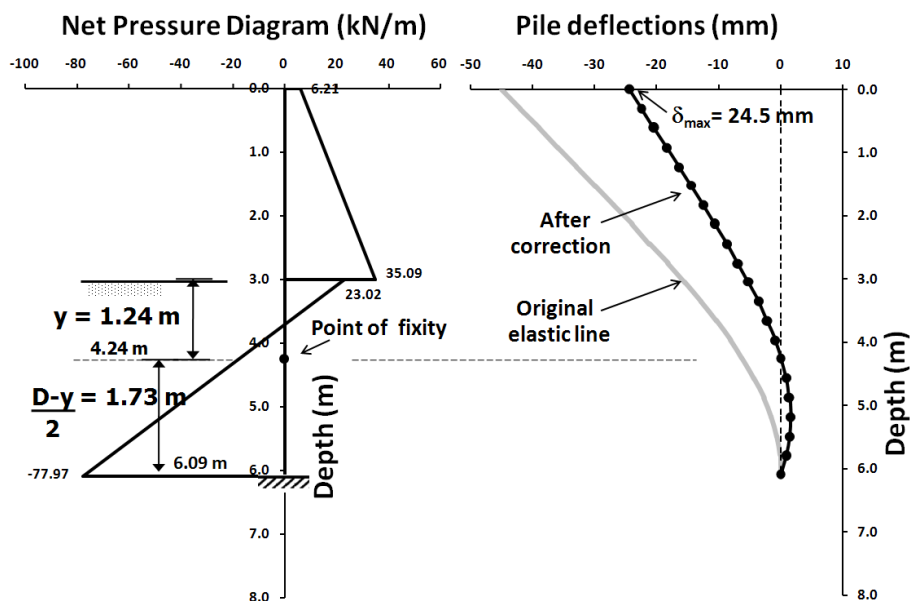
ภาพที่ 5 โจทย์ปัญหากำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นใช้สอบเทียบผลคำนวณค่าระยะ โกงตัวของระบบกำแพงกันดิน

ในโจทย์ได้ปรับเป็นหน่วยในระบบเอสไอเพื่อสะดวกต่อการคำนวณ โจทย์ปัญหาได้กำหนดค่าศักยภาพการแผ่กระจายแรงด้านรูปโค้ง (Arching Capability) เพื่อคำนวณความกว้างประสิทธิผล (effective width, B_{eff}) ของเสาเข็ม $= 2.88 (0.08 \times \phi' \leq 3)$ และกำหนดจุด PoI ที่ระยะ $y = 0.25 D$ ผลวิเคราะห์ของ CALTRANS ด้วยวิธีอย่างง่าย (simplified method) ได้ค่าระยะฝังปลายเสาเข็ม $D = 4.95 \text{ m}$. และผลวิเคราะห์ BMD ดังแสดงในภาพที่ 6 ต่อมาเมื่อคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอรายละเอียดในหัวข้อ 3.1 ได้ผลคำนวณค่าระยะ โกงตัวสูงสุดที่ปลายเสาเข็มของกำแพงกันดิน $\delta_u = 24.5 \text{ mm}$. เปรียบเทียบผลกับวิธีการคำนวณที่บทความวิจัยนี้นำเสนอซึ่งประกอบด้วยการวิเคราะห์ระยะ โกงตัวด้วยสูตรฟังก์ชัน โดยแบบจำลองคานยื่น และการปรับแก้ผลคำนวณตามขั้นตอนที่นำเสนอ

ไว้ในหัวข้อ 4.3 ได้ผลคำนวณระยะโก่งตัวสูงสุดที่ปลายเสาเข็มของกำแพงกันดิน $\delta_a = 24.5$ มม.เท่านั้น นอกจากนี้ยังได้ผลลืตค่าระยะโก่งตัวของแนวเสาเข็มกำแพงกันดินเหนือจุด c ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 ผลคำนวณระยะโก่งตัวที่ปลายเสาเข็มของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น โดยวิธีที่เสนอโดย CALTRANS



ภาพที่ 7 ผลคำนวณและผลลืตค่าระยะโก่งตัวของแนวเสาเข็มของกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่น โดยวิธีที่บทความนำเสนอ

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้สูตรฟังก์ชันคำนวณระยะโก่งตัวจากสูตรคำนวณคานกรณีคานยื่นรับน้ำหนักบรรทุกแผ่รูปคางหมูกกลางช่วงคาน เพื่อประมาณค่าระยะโก่งตัวของเสาเข็มที่เป็นโครงสร้าง

หลักในระบบกำแพงกันดินเสาเข็มเสียบแผ่นผนังแบบคานยื่นให้ได้ผลตรงกับวิธีการคำนวณที่เสนอโดย CALTRANS เมื่อสอบเทียบผลโดยใช้ตัวอย่างโจทย์ปัญหาเดียวกันพบว่าให้ผลคำนวณตรงกัน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างทั้งสองวิธีพบว่า วิธีการที่บทความนำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าในด้านต่างๆ ดังรายละเอียดที่อภิปรายต่อไปนี้

- มีความยุ่งยากและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า เนื่องจากวิธีที่บทความนำเสนอต้องการเพียงค่าความยาวระยะฝังปลายเสาเข็ม (D) และค่าแรงดันดินสุทธิเป็นแรงกระทำแนวราบบนแบบจำลองคานยื่น ซึ่งเป็นผลวิเคราะห์พื้นฐานที่คำนวณได้ในขั้นตอนของกระบวนการวิเคราะห์ออกแบบด้วยหลักการขีดจำกัดสภาพสมดุล เมื่อใส่ข้อมูลลงในสเปรดชีตจะได้ผลคำนวณอย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธีของ CALTRANS อาศัยวิธีคานคอนจูเกตในการคำนวณระยะโค้งตัว วิธีนี้ต้องการค่าปริมาณพื้นที่ และตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง (cg) จากชิ้นส่วนแผนภาพโมเมนต์ดัด (BMD) ที่มีการคำนวณหลายขั้นตอน เริ่มด้วยการคำนวณผลข้อมูลค่าพิคคของจุดบน BMD การคำนวณพื้นที่ และคำนวณตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง มีความยุ่งยากเนื่องจากพื้นที่เหล่านี้ไม่ใช่รูปทรงเรขาคณิตพื้นฐาน

- วิธีที่บทความนำเสนอมีความถูกต้องของผลคำตอบในเชิงทฤษฎีมากกว่า เพราะการแทนค่าสูตรฟังก์ชันให้ผลคำนวณที่แม่นยำตรง ในขณะที่การคำนวณพื้นที่ หรือตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วง เพื่อใช้กับวิธีคานคอนจูเกตด้วยข้อมูลพิคคของจุดบน BMD ได้ออกมาเป็นค่าโดยประมาณขึ้นอยู่กับความละเอียดของการแบ่งย่อยพื้นที่เพื่อคำนวณ นอกจากนี้วิธีที่บทความนำเสนอสามารถให้ผลคำตอบออกมาเป็นข้อมูลและพล็อตระยะโค้งตัวของเสาเข็มตลอดทั้งแนว ในขณะที่วิธีของ CALTRANS ได้เพียงค่าสูงสุดที่ตำแหน่งปลายด้านบนของเสาเข็ม

-

6. ข้อเสนอแนะ

ปรับปรุงสูตรฟังก์ชันที่ตอบสนองการใช้งานกรณีออกแบบโครงสร้างกำแพงกันดินประเภทฝังปลายในชั้นดินประเภทอื่น เช่น ประเภทที่มีการยึดรั้ง (restrained system) เช่น มีการใช้สมอยึดหรือมีการค้ำยัน โดยพัฒนาให้ออกแบบได้ทั้งกรณีเงื่อนไขโครงสร้างแบบคิเทอร์มินเนท และแบบอินดีเทอร์มินเนท

7. รายการอ้างอิง

- Bowles, J. E. 1982. **Foundation Analysis and Design**, 3rd Edition. New York: McGraw Hill Book Company.
- CALTRANS, 2011. **Trenching and Shoring Manual**. California: Office of Structure Construction, California Department of the Transportation, Sacramento.
- Clayton, C. R. I., Woods R. I. and Milititsky J. 1993. **Pressure and Earth-Retaining Structures**, 2nd Edition. Florida: CRC Press.
- Goldberg, D. T., Jaworski, W. E. and Gordon, M. D. 1976. **FHWA-D-75-128: Lateral Support Systems and Underpinning**. Washington D.C: Federal Highway Administration.
- Padfield, C. J. and Mair, R. J. 1984. **CIRIA Report 104: Design of retaining walls embedded in stiff clays**. London: Construction Industry Research and Information Association.

ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าของโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

FACTORS AFFECTING THE CONSTRUCTION OF THE UNDERGROUND CONDUIT FOR CABLES

อชิป ตรียศ

ดร.นคร สุริยานนท์

บุญทรัพย์ ลีลาภิรักษ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

E-mail: atipp.sc@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ทำการศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าของโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน คณะผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 90 ราย จากบุคลากรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินทั้งในส่วนของผู้เจ้าของโครงการ ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้รับเหมาหลัก และผู้รับเหมาย่อย การวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ค่าดัชนีความรุนแรง (Severity Index: S.I.) และแผนผังเหตุและผล (Cause and effect diagram) ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการวิจัยพบว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าของโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินมากที่สุด ได้แก่ การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้ามากที่สุด ได้แก่ ปัจจัยด้านการดำเนินงานของผู้รับเหมา

คำสำคัญ: ความล่าช้า โครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ผู้รับเหมาหลัก ผู้รับเหมาช่วง

ABSTRACT

The main objective of this research study is to investigate the causes and factors leading to delay in the construction of the underground conduit for cables. The researchers collected data from various groups of people involved in the construction of the underground conduit for cables, including the owner of the project, the designer, the supervisor, the contractor and subcontractors. The total number of these people enrolled in this study was 90. In the analysis of the data, severity index and cause and effect diagram were used. The employment of inefficient subcontractor had the highest severity index, or in other words, the most severe impact on the construction of the underground conduit for cables. The operation of the contractor was the factor that had the most severe impact on the construction of the underground conduit for cables.

KEYWORD: delay in the construction, underground conduit, contractor, subcontractor

1. บทนำ

ในช่วงระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา แนวโน้มของเศรษฐกิจของประเทศไทยมีการพัฒนาไปในทิศทางที่ดีขึ้น ส่งผลให้ทุกพื้นที่และทุกภาคส่วนของประเทศไทยเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นมีผลให้ประเทศไทยมีความต้องการใช้ระบบสาธารณูปโภคอย่างต่อเนื่องมากขึ้น ระบบและรูปแบบการก่อสร้างงานสาธารณูปโภคแต่ละประเภทมีรูปแบบที่แตกต่างกัน ปัจจุบันประเทศที่พัฒนาแล้วให้ความสำคัญกับระบบการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินเป็นอย่างมาก เพราะสามารถช่วยลดปัญหาการกีดขวางทัศนียภาพความเป็นระเบียบเรียบร้อยโดยรวมของเมืองได้ การวิจัยนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าของโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน คณะผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศไทย โดยเฉพาะผู้เกี่ยวข้องในการพัฒนาและวางแผนในการดำเนินการก่อสร้างระบบสาธารณูปโภคอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

3. ทฤษฎี และงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1 ความล่าช้า

ความหมายของคำว่า “ความล่าช้า” ในงานวิศวกรรมโยธา และงานก่อสร้างหมายถึง “ช่วงเวลาที่ขยายออกไปจากเวลาก่อสร้างที่กำหนดไว้ตามแผนงาน เนื่องจากมีงานที่ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ เนื่องจากเกิดสิ่งที่ไม่คาดหมายหรือเกิดปัญหาต่างๆ ขึ้น ” (พีระพล เดชะนุวงศ์, 2545, Bamble and Callahan , 1987) ผลเสียที่ติดตามมาเมื่อเกิดความล่าช้าขึ้นในโครงการก่อสร้าง ได้แก่ ความเสียหายด้านเวลา ด้านค่าใช้จ่าย และด้านคุณภาพของงาน สาเหตุของความล่าช้าที่เกิดขึ้นในโครงการก่อสร้างสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากหลายปัจจัยหลายสาเหตุ เช่น สาเหตุจากเครื่องมือ สาเหตุจากแรงงาน สาเหตุจากเงิน สาเหตุจากวัสดุ ฯลฯ ด้วยเหตุนี้นักวิจัย ผู้บริหาร วิศวกร และผู้ลงทุนจำนวนมากจึงได้ให้ความสำคัญกับงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความล่าช้าของโครงการก่อสร้างประเภทต่างๆ เพื่อหาแนวทางแก้ไขและป้องกันไม่ให้เกิดความล่าช้าในโครงการก่อสร้าง (พีรพงษ์ เพ็ชรพันธุ์, 2557, กณวรรณ มุลพฤกษ์, 2556, วีระ พลเสนา, 2554, เพ็ญศิริ ดวงศรีแก้ว, 2556, ปณิธาน ไชยรักษ์, 2551)

3.2 การก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน

ประเทศไทยมีหน่วยงานหลักที่มีความเชี่ยวชาญในการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินอยู่ 3 หน่วยงาน ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) และบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) การก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินมีกรรมวิธี และรูปแบบในการก่อสร้างหลายรูปแบบ โดยที่แต่ละรูปแบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน การเลือกกรรมวิธีที่ใช้ในการก่อสร้างขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ลักษณะของพื้นที่ที่ทำงาน ระยะเวลาการก่อสร้าง ความชำนาญของผู้ประกอบการ เป็นต้น ขั้นตอนการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนได้แก่ งานติดตั้งบ่อพัก (Manhole) งานติดตั้งท่อร้อยสายเคเบิล และงานติดตั้งสายเคเบิล

3.3 งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

พิรพงษ์ เพ็ชรพันธุ์ (2557) ระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อในโครงการก่อสร้างองค์กรปกครองท้องถิ่น เขตตะวันตก มากที่สุด ได้แก่ การเบิกจ่ายเงินตามงวดงานเกิดความล่าช้า และการทุจริตของพนักงานในหน่วยงานก่อสร้าง

กณวรรณ มุลพฤกษ์ (2556) ระบุว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรมมากที่สุดได้แก่ ปัจจัยด้านการติดต่อสื่อสารและประสานงาน และปัจจัยด้านแผนงานก่อสร้าง

วีระ พลเสนา (2554) ระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในโครงการก่อสร้างทางยกระดับรูปแบบคานรูปกล่อง ได้แก่ ต้องใช้ความรู้เทคนิคเฉพาะ ขาดแคลนแรงงาน และ วิศวกรขาดประสบการณ์ในการคุมงาน

เพ็ญศิริ ดวงศรีแก้ว (2556) ระบุว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าของโครงการก่อสร้างมากที่สุด ได้แก่ ปัจจัยด้านกฎระเบียบ ข้อบังคับ และขั้นตอนการดำเนินการ ปัจจัยด้านบุคลากร และปัจจัยด้านการเงิน/ต้นทุน

ปณิธาน ไชรรักษ์ (2551) ระบุว่า สาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารพักอาศัยโดยผู้รับเหมาขนาดเล็ก ได้แก่ การขึ้นราคาของวัสดุก่อสร้าง การแก้ไขแบบก่อสร้างของเจ้าของบ้าน และปัญหาเศรษฐกิจโลก

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature review)

4.2 ระบุปัจจัย (Identification factor) การวิจัยนี้ทำการแบ่งปัจจัยหลักออกเป็น 3 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัยด้านการดำเนินงานของกลุ่มเจ้าของงาน ปัจจัยด้านการดำเนินงานของกลุ่มผู้รับเหมา และปัจจัยอื่นๆ

4.3 สร้างแบบสอบถาม (Questionnaires design) แบบสอบถามที่ใช้ในการวิจัยนี้มีลักษณะเป็นคำถามปลายปิด (Closed-ended question) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล่าช้า

4.4 เก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้แก่ กลุ่มบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน จำนวน 90 ตัวอย่าง

4.5 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัย (Discussion and Conclusion) การวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าดัชนีความรุนแรง (Severity Index: S.I.) และใช้แผนผังเหตุและผล (Cause and effect diagram) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

$$S. I. = \frac{(\text{Impact Level}) \times (\text{Offering Frequency})}{5 \times 5}$$

โดยที่

Impact level = ค่าเฉลี่ยของระดับผลกระทบหรือระดับความรุนแรง

Offering Frequency = ค่าเฉลี่ยของระดับความถี่

5 x 5 หมายถึง ช่วงชั้นระดับความถี่ x ช่วงชั้นระดับความรุนแรง

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการเก็บข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถามพบว่า เป็นเพศชายร้อยละ 81 และเป็นเพศหญิงร้อยละ 19 ผู้กรอกแบบสอบถามมีระดับประสบการณ์การทำงานระหว่าง 6-10 ปี คิดเป็นร้อยละ 59 มีระดับประสบการณ์การทำงานตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 21 มีระดับประสบการณ์การทำงานระหว่าง 0-1 ปี คิดเป็นร้อยละ 9 มีระดับประสบการณ์การทำงานระหว่าง 3-5 ปี คิดเป็นร้อยละ 9 และมีระดับประสบการณ์การทำงานระหว่าง 1-3 ปี คิดเป็นร้อยละ 2 ตามลำดับ ระดับตำแหน่งการทำงานในปัจจุบันของผู้ตอบแบบสอบถามได้แก่ ตำแหน่งกรรมการตรวจรับงานจ้างร้อยละ 51 ตำแหน่งวิศวกรโครงการร้อยละ 20 ตำแหน่งผู้ควบคุมร้อยละ 18 ตำแหน่งหัวหน้าส่วนและตำแหน่งผู้จัดการโครงการร้อยละ 5 และตำแหน่งผู้จัดการร้อยละ 1 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลระบุว่า ร้อยละ 55 ของผู้ตอบแบบสอบถามดำเนินงานในกลุ่มเจ้าของงาน และดำเนินงานในกลุ่มผู้รับเหมาคิดเป็นร้อยละ 45 ตามลำดับ

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดความล่าช้า

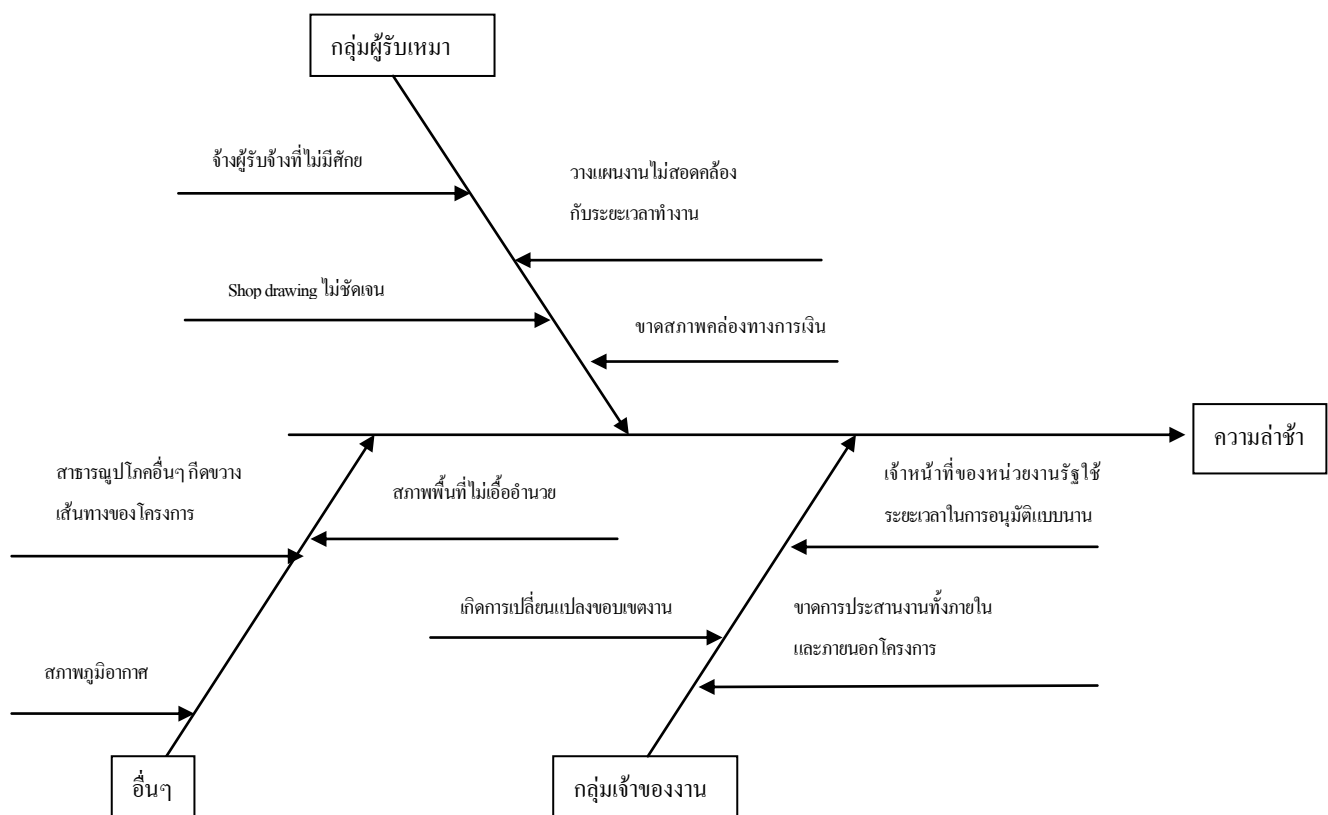
งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้า 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยด้านการดำเนินงานของกลุ่มเจ้าของงาน ปัจจัยด้านการดำเนินงานของกลุ่มผู้รับเหมา และ ปัจจัยด้านอื่นๆ โดยที่ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการจำแนกสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าออกเป็น 48 สาเหตุ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเรียงลำดับสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าตามค่าดัชนีความรุนแรงจากมากไปน้อย ผลจากการเรียงลำดับพบว่าสาเหตุ 10 อันดับแรกที่ทำให้เกิดความล่าช้าได้แก่ การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน เกิดการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของงาน สภาพภูมิอากาศไม่เอื้อกับการทำงาน เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานรัฐใช้ระยะเวลาในการอนุมัติแบบขนาน สภาพพื้นที่ในการก่อสร้างไม่เอื้ออำนวย แบบ Shop Drawing ไม่ชัดเจน ขาดการประสานงานและขาดการสื่อสารภายในและภายนอกโครงการ สาธารณูปโภคอื่นกีดขวางเส้นทางของโครงการ ผู้รับเหมาวางแผนงานที่ไม่สอดคล้องกับระยะเวลาของโครงการ และผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีความรุนแรงสามารถระบุว่า สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน และในการวิจัยนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลสาเหตุ 10 อันดับแรกโดยใช้แผนผังเหตุและผลดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อหาข้อสรุปว่าปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบมากที่สุดกับโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดิน ผลการวิเคราะห์ระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ปัจจัยด้านการดำเนินงานของผู้รับเหมา

ตารางที่ 1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้า

No	Factor	S.I	ปัจจัย
1	การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน	0.886	ผู้รับเหมา
2	เกิดการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของงาน	0.753	เจ้าของงาน
3	สภาพภูมิอากาศไม่เอื้อกับการทำงาน	0.733	อื่นๆ
4	เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานรัฐใช้ระยะเวลาในการอนุมัติแบบขนาน	0.704	เจ้าของ
5	สภาพพื้นที่ในการก่อสร้างไม่เอื้ออำนวย	0.694	อื่นๆ
6	แบบ Shop Drawing ไม่ชัดเจน	0.690	ผู้รับเหมา

7	ขาดการประสานงานและขาดการสื่อสารภายในและภายนอกโครงการ	0.689	เจ้าของงาน
8	สาธารณูปโภคอื่นกีดขวางเส้นทางของโครงการ	0.676	อื่นๆ
9	ผู้รับเหมาวางแผนงานที่ไม่สอดคล้องกับระยะเวลาของโครงการ	0.677	ผู้รับเหมา
10	ผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน	0.625	ผู้รับเหมา
11	การขาดแคลนแรงงานของผู้รับเหมาช่วง	0.618	ผู้รับเหมา
12	ปัญหาการจราจรติดขัด	0.617	อื่นๆ
13	กำหนดระยะเวลาการทำงานที่ไม่สามารถปฏิบัติได้จริง	0.581	เจ้าของงาน
14	ความไม่ชัดเจนในการตัดสินใจหน้างานของกลุ่มผู้รับเหมา	0.576	ผู้รับเหมา
15	การประสานงานกับหน่วยงานราชการในพื้นที่	0.564	อื่นๆ
16	การวางแผนจัดคนเข้าทำงาน	0.561	ผู้รับเหมา
17	การประสานงานกับหน่วยงานสาธารณูปโภคอื่น	0.541	อื่นๆ
18	ผู้ควบคุมงานขาดความรู้ ความชำนาญการ	0.452	เจ้าของงาน
19	ความเสียหายของเครื่องจักรและวัสดุเนื่องจากการทำงาน	0.435	ผู้รับเหมา
20	ขาดการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้างที่ดี	0.418	ผู้รับเหมา
21	การควบคุมผู้รับเหมาช่วงไม่เข้มงวดพอก่อให้เกิดปัญหา	0.400	ผู้รับเหมา
22	บุคลากรของผู้รับจ้างขาดแรงจูงใจ ไม่ได้รับการสนับสนุนในการปฏิบัติงาน	0.397	ผู้รับเหมา
23	กรณีเลื่อนเวลาทำสัญญาจ้าง	0.372	เจ้าของงาน
24	ศึกษารายละเอียดในการก่อสร้างไม่ดีพอทำให้ไม่เข้าใจขั้นตอนการและเทคนิค	0.370	ผู้รับเหมา
25	เครื่องจักรที่ดำเนินงานก่อสร้างมีจำนวนไม่เพียงพอ	0.349	ผู้รับเหมา
26	ประชาชนไม่ยอมให้ทำการก่อสร้าง	0.340	อื่นๆ
27	สภาพเศรษฐกิจตกต่ำ/การขัดแย้งทางการเมือง	0.336	อื่นๆ
28	เกิดปัญหาสภาพคล่องทางการเงินกับผู้รับเหมาช่วง	0.334	ผู้รับเหมา
29	การขออนุมัติขอใช้วัสดุอุปกรณ์ ล่าช้ากว่าแผนงานในส่วนของผู้รับเหมา	0.332	ผู้รับเหมา
30	จำนวนผู้ควบคุมงาน (Inspector) ไม่เพียงพอ	0.327	เจ้าของงาน
31	ปัญหาการประสานงานเขต/เทศบาล/อบต. ในพื้นที่	0.321	อื่นๆ
32	ขาดความชำนาญในการใช้เครื่องจักรจนเกิดความเสียหาย	0.321	ผู้รับเหมา
33	ปัญหาการขนส่งวัสดุเข้าโครงการล่าช้า	0.320	ผู้รับเหมา
34	ขั้นตอนทางธุรการของผู้ว่าจ้างในเรื่องเอกสารมีหลายขั้นตอนมากเกินไป	0.295	เจ้าของงาน
35	ประสานงานเพื่อยื่นเอกสารขออนุญาตสำรวจในพื้นที่รับผิดชอบผิดพลาดและ	0.277	อื่นๆ
36	ข้อกำหนดด้านกฎหมาย หรือระเบียบข้อบังคับ ต่างๆ ตามพระราชบัญญัติ	0.267	อื่นๆ
37	ปัญหาฝีมือแรงงานขาดการอบรมและขาดประสิทธิภาพในการทำงาน	0.239	อื่นๆ
38	กฎเกณฑ์ของหน่วยงานรัฐ ที่ระบุว่าต้องเลือกผู้รับจ้างที่เสนอราคาต่ำสุดเสมอ	0.238	อื่นๆ
39	ระยะทางของแคมป์คนงานอยู่ไกลสถานที่ก่อสร้างโครงการ	0.233	อื่นๆ
40	เกิดข้อพิพาทหรือหาข้อยุติกรณีที่เกิดงานที่ทำไม่ได้ระบุไว้ในสัญญาจ้าง	0.197	อื่นๆ
41	ขนาดของพื้นที่โครงการที่มีผลต่อการใส่ใจของบริษัทผู้รับเหมา	0.196	อื่นๆ
42	การเปลี่ยนแปลงด้านราคาวัสดุระหว่างงานก่อสร้างโครงการ	0.190	อื่นๆ

43	ขั้นตอนในการขออนุมัติเปลี่ยนแปลงชนิดวัสดุตามสภาพพื้นที่ที่หน้างานมีหลายขั้นตอน และใช้ระยะเวลานาน	0.175	เจ้าของงาน
44	เปลี่ยนแปลงขอบเขตการดำเนินงาน โครงการ	0.172	เจ้าของงาน
45	การลักลอบใช้วัสดุที่ไม่มีคุณภาพละเมิดข้อกำหนดของโครงการ	0.171	ผู้รับเหมา
46	การตั้งวadbกจ่ายมีระยะเวลาช่วงยาวเกินไป	0.142	เจ้าของงาน
47	การเปลี่ยนแปลงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ โดยกลุ่มเจ้าของงาน	0.128	เจ้าของงาน
48	ปัญหาด้านแรงงานต่างชาติตามภาวะประกาศของภาครัฐบาล	0.154	อื่นๆ



รูปที่ 1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าโดยแผนผังเหตุและผล

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าดัชนีความรุนแรงของสาเหตุทั้งหมดที่ส่งผลกระทบให้เกิดความล่าช้าต่อโครงการ ผู้วิจัยพบว่า 5 สาเหตุแรกที่มีส่งผลกระทบมากที่สุดในการดำเนินงานของกลุ่มเจ้าของงาน ได้แก่ เกิดการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของงาน เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานรัฐใช้ระยะเวลาในการอนุมัติแบบนาน ขาดการประสานงานและขาดการสื่อสารภายในและภายนอกโครงการ กำหนดระยะเวลาในการก่อสร้างที่ไม่สามารถปฏิบัติงานได้จริง และผู้ควบคุมงานขาดความรู้ความชำนาญการ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ระบุว่า 5 สาเหตุแรกที่มีผลกระทบมากที่สุดในการดำเนินงานของกลุ่มผู้รับเหมา ได้แก่ การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน แบบ Shop Drawing ไม่ชัดเจน ผู้รับเหมาวางแผนงานที่ไม่สอดคล้องกับระยะเวลาของ

โครงการ ผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน และการขาดแคลนแรงงานของผู้รับเหมาช่วง ตามลำดับ ในการวิจัยพบว่า 5 สาเหตุแรกที่มีผลกระทบมากที่สุดของปัจจัยด้านอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อโครงการ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศไม่เอื้อกับการทำงาน สภาพพื้นที่ในการก่อสร้างไม่เอื้ออำนวย สาธารณูปโภคอื่นกีดขวางเส้นทางของโครงการ การจราจรติดขัด ค้างคั่งตลอดเวลา และ การประสานงานกับหน่วยงานราชการในพื้นที่ ตามลำดับ

6. สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในโครงการก่อสร้างท่อร้อยสายเคเบิลใต้ดินมากที่สุดได้แก่ การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ ปัจจัยด้านการดำเนินงานของผู้รับเหมา ผลการวิจัยระบุว่า 10 อันดับแรกที่ทำให้เกิดความล่าช้าได้แก่ การว่าจ้างผู้รับเหมาช่วงที่ไม่มีศักยภาพมาทำงาน เกิดการเปลี่ยนแปลงขอบเขตของงาน สภาพภูมิอากาศไม่เอื้อกับการทำงาน เจ้าหน้าที่ของหน่วยงานรัฐใช้ระยะเวลาในการอนุมัติแบบนาน สภาพพื้นที่ในการก่อสร้างไม่เอื้ออำนวย แบบ Shop Drawing ไม่ชัดเจน ขาดการประสานงานและขาดการสื่อสารภายในและภายนอกโครงการ สาธารณูปโภคอื่นกีดขวางเส้นทางของโครงการ ผู้รับเหมาวางแผนงานที่ไม่สอดคล้องกับระยะเวลาของโครงการ และผู้รับเหมาขาดสภาพคล่องทางการเงิน ตามลำดับ

7. รายการอ้างอิง

- กณวรรณ มุลพฤษ. 2556. “การศึกษาปัจจัยความล่าช้าระหว่างผู้รับเหมาโครงสร้างและสถาปัตยกรรมผู้รับเหมางานระบบในงานก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรม.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปณิธาน ไชยรักษ์. 2551. “การศึกษาปัจจัยด้านการเงินที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารพักอาศัยโดยผู้รับเหมาขนาดเล็ก.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิระพล เดชะคนูวงศ์. 2545. “การคาดการณ์แนวโน้มความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่.” การศึกษาเฉพาะเรื่องปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิรพงษ์ เพ็ชรพันธ์. 2557. “การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าภายในโครงการก่อสร้างขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เขตภาคตะวันตก.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 14 – 16 พฤษภาคม 2557 จ.ขอนแก่น.
- เพ็ญศิริ ดวงศรีแก้ว. 2556. “ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความล่าช้าของงานก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วีระ พลเสนา. 2554. “การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในโครงการก่อสร้างทางยกระดับรูปแบบคาน
รูปกล่องและคานรูปตัวไอ.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Bramble B. B. and Callahan M.T. 1987. **Construction delay claims**. New York: John Wiley&Sons Inc.

**ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในงานติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิต
ของงานก่อสร้างอาคารสูง**

**FACTORS AFFECTING THE INSTALLATION OF MARBLE AND GRANITE
FOR DECORATION IN HIGH RISE BUILDING PROJECT**

บุญทรัพย์ ลีลาภิรักษ์

ดร.นคร สุริยานนท์

อธิป ตรียศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วิทยาเขตอุเทนถวาย

Email: Slass_63@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ทำการศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในงานติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิตของงานก่อสร้างอาคารสูง และศึกษาหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาที่ทำให้เกิดความล่าช้าขึ้น ผลการวิจัยจากการเก็บข้อมูลจำนวน 118 ตัวอย่างระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ปัจจัยด้านการเงิน สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ การขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้เจ้าของโครงการ แนวทางในการแก้ไขสำหรับปัญหาที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ เจ้าของโครงการควรจะทำวางแผนในการจัดสรรเงินให้รอบคอบตรงตามแผนงาน เพื่อป้องกันปัญหาการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้เจ้าของโครงการ และจ่ายค่าแรงตามงวดงานตามสัญญาที่ได้ทำการตกลงไว้

คำสำคัญ: ความล่าช้า งานติดตั้งหินอ่อนหินแกรนิต งานก่อสร้างอาคารสูง การเงิน

ABSTRACT

The main objective of this research study is to investigate the causes and factors leading to delay in the installation of marble and granite for decoration in high rise building project. The strategy for prevention and solution of this problem is also investigated. Shortage of money of the owner of the building project had the highest severity index or in other words the most severe impact on the installation of these decoration materials. To solve or prevent the problem related to this financial factor, the owner of the building project should carefully allocate the money according to the plan. He should keep to the contract and pay the money to his

contractor after accomplishment of each portion of the work on time. This is to prevent the shortage of money of the contractor that may happen subsequently.

KEYWORD: Delay, marble and granite, decoration, money, building project

1. บทนำ

งานก่อสร้างอาคารสูงในประเทศไทยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น หินอ่อนและหินแกรนิตเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมสูงมากในงานก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรม โดยทั่วไปในการดำเนินการก่อสร้างอาคารสูงทั่วไปจะมีผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่ายได้ ได้แก่ เจ้าของงาน ผู้ออกแบบ ที่ปรึกษาโครงการ ผู้รับเหมาหลัก ผู้รับเหมาย่อย ผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ ผู้ควบคุมงาน และผู้เกี่ยวข้องกับหน้างาน โดยที่แต่ละฝ่ายมีหน้าที่ ภาระงานการทำงาน ขั้นตอนการทำงาน และความรับผิดชอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า งานติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิตเป็นงานที่ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอน มีกระบวนการทำงานหลายส่วน และเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างบุคคลากรหลายฝ่าย ดังนั้นในการทำงานจริงอาจเกิดปัญหาและอุปสรรคส่งผลให้เกิดความล่าช้าขึ้นในโครงการก่อสร้างได้ ทำให้เกิดผลกระทบกับการบริหารโครงการในภาพรวม ในอดีตพบว่ามีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความล่าช้าในโครงการก่อสร้างต่างๆ มากมาย เช่น โครงการบ้านพักอาศัย โครงการก่อสร้างทางยกระดับ โครงการอาคารอุตสาหกรรม โครงการสิ่งก่อสร้างในมหาวิทยาลัย โครงการก่อสร้างขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และอาคารขนาดใหญ่ (ปณิธาน ไชยรักษ์, 2551, วีระ พลเสนา, 2554, กณวรรณ มุลพฤกษ์, 2556, เพ็ญศิริ ดวงศรีแก้ว, 2556, พิรพงษ์ เพ็ชรพันธ์, 2557, พิระพล เดชะคนูวงศ์, 2545) แต่ผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในงานติดตั้งหินอ่อนหินแกรนิตของงานก่อสร้าง ผู้วิจัยและทีมงานอาจจะเป็นนักวิจัยกลุ่มแรกในประเทศไทยที่ทำการวิจัยในส่วนนี้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงหวังว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์กับผู้เกี่ยวข้องในการพัฒนาและวางแผนในการดำเนินการก่อสร้างอาคารสูงอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป .

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล่าช้าในงานติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิตของงานก่อสร้างอาคารสูง

2.2 เพื่อหาแนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาล่าช้าในงานติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิตของงานก่อสร้างอาคารสูง

3. ทฤษฎี และงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.1 นิยาม ประเภทของความล่าช้า สาเหตุของความล่าช้า

นิยามของความล่าช้าได้แก่ “ช่วงเวลาที่ขยายออกไปจากเวลาก่อสร้างที่กำหนดไว้ตามแผนงาน เนื่องจากมีงานที่ยังดำเนินการไม่แล้วเสร็จ ” (พิระพล เดชะคนูวงศ์, 2545, Bramble and Callahan, 1987) โดยที่ความล่าช้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (Bramble and Callahan, 1987, Promkuntong, 1992) ได้แก่

1. ความล่าช้าที่ให้อภัยได้ (Excusable Delay) ความล่าช้าที่ให้อภัยได้ คือ ความล่าช้าที่เกิดจาก กลุ่มผู้ว่าจ้าง กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา หรือเกิดจากเหตุสุดวิสัยที่ส่งผลให้ทำงานก่อสร้างไม่ได้ ความล่าช้าชนิดนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความล่าช้าที่ให้อภัยได้แบบเรียกชดเชยค่าเสียหายได้ เป็นความล่าช้าที่เกิดจากผู้ว่าจ้าง เช่น ผู้ว่าจ้าง เปลี่ยนแปลงรายการก่อสร้าง ความล่าช้าประเภทนี้ ผู้รับจ้างสามารถขอชดเชยระยะเวลาในการทำงาน และสามารถเรียกชดเชยค่าชดเชยหรือค่าเสียหายได้ และความล่าช้าที่ให้อภัยได้แบบไม่สามารถเรียกชดเชยค่าเสียหายได้ เป็นความล่าช้าที่เกิดจาก เหตุสุดวิสัย เช่น การเกิดภัยธรรมชาติ การหยุดงานประท้วงของแรงงาน เป็นต้น ความล่าช้าประเภทนี้ผู้รับจ้างสามารถขอชดเชยระยะเวลาในการทำงานได้แต่ไม่สามารถเรียกชดเชยค่าชดเชยหรือค่าเสียหายได้

2. ความล่าช้าที่ให้อภัยไม่ได้ (Non-Excusable Delay) คือ ความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากฝ่ายผู้รับเหมา เช่น การวางแผนการทำงานที่ผิดพลาด เครื่องจักรที่ใช้งานไม่มีประสิทธิภาพ ชำรุด จำนวนแรงงาน มีไม่เพียงพอกับงาน ผู้ควบคุมงานขาดทักษะและประสบการณ์ทำงาน หรือเกิดอุบัติเหตุจากการทำงานที่ผิดพลาดของผู้รับเหมา เป็นต้น เมื่อเกิดความล่าช้าประเภทนี้เกิดขึ้นอาจส่งผลให้ ผู้รับเหมาต้องชดเชยในรูปแบบค่าปรับให้กับเจ้าของงาน

สาเหตุของความล่าช้าอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท (ณัฐพร เพิ่มทรัพย์, 2544) ได้แก่ ความล่าช้าจากการจัดการภายในหรือความล่าช้าที่เกิดจากผู้รับเหมาหลัก และความล่าช้าจากการจัดการภายนอกหรือความล่าช้าที่ไม่ได้เกิดจากผู้รับเหมาหลัก

3.2 งานหินอ่อนหินแกรนิต

หินอ่อนและหินแกรนิต เป็นวัสดุธรรมชาติที่มีสีสัน และมีลวดลายที่สวยงามเป็นเอกลักษณ์ ดังนั้นหินอ่อนและหินแกรนิตจึงเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในงานก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรม ทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยทั่วไปงานหินอ่อนแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ งานแปรรูปหิน และงานติดตั้งหิน

3.3 งานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

ปณิธาน ไชยรักษ์ (2551) ระบุว่า สาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารพักอาศัยโดยผู้รับเหมาขนาดเล็ก ได้แก่ การขึ้นราคาของวัสดุก่อสร้าง การแก้ไขแบบก่อสร้างของเจ้าของบ้าน และปัญหาเศรษฐกิจโลก

วีระ พลเสนา (2554) ระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในโครงการก่อสร้างทางยกระดับรูปแบบคานรูปกล่อง ได้แก่ ต้องใช้ความรู้เทคนิคเฉพาะ ขาดแคลนแรงงาน และ วิศวกรขาดประสบการณ์ในการคุมงาน

กณวรรธน์ มุลพฤษย์ (2556) ระบุว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรมมากที่สุดได้แก่ ปัจจัยด้านการติดต่อสื่อสารและประสานงาน และปัจจัยด้านแผนงานก่อสร้าง

เพ็ญศิริ ดวงศรีแก้ว (2556) ระบุว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าของโครงการก่อสร้างมากที่สุดได้แก่ ปัจจัยด้านกฎระเบียบ ข้อบังคับ และขั้นตอนการดำเนินการ ปัจจัยด้านบุคลากร และปัจจัยด้านการเงิน/ต้นทุน

พิรพงษ์ เพ็ชรพันธ์ (2557) ระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลกระทบในโครงการก่อสร้างองค์กรปกครองท้องถิ่น เขตตะวันตก มากที่สุด ได้แก่ การเบิกจ่ายเงินตามงวดงานเกิดความล่าช้า และการทุจริตของพนักงานในหน่วยงานก่อสร้าง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะการดำเนินการก่อสร้างและติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิต ในอาคารสูงในเขตจังหวัดกรุงเทพมหานครเท่านั้น

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้คือแบบสอบถามที่มีลักษณะเป็นคำถามปลายปิด (Closed-ended question) และคำถามปลายเปิด (Open-ended question) แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับปัจจัยที่ก่อให้เกิดความล่าช้า และส่วนที่ 3 แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาความล่าช้า

4.3 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ กลุ่มบุคคลที่เกี่ยวข้องกับงานและโครงการก่อสร้างติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิต ทั้งฝ่ายเจ้าของโครงการและฝ่ายผู้รับเหมาจำนวน 118 ตัวอย่าง

4.4 สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยนี้ คือ ค่าดัชนีความรุนแรง (Severity Index: S.I.) ใช้สูตรคำนวณ คือ

$$S.I. = \frac{(\text{Impact Level}) \times (\text{Offering Frequency})}{5 \times 5}$$

โดยที่ Impact level = ค่าเฉลี่ยของระดับผลกระทบหรือระดับความรุนแรง

Offering Frequency = ค่าเฉลี่ยของระดับความถี่

5 x 5 หมายถึง ช่วงชั้นระดับความถี่ x ช่วงชั้นระดับความรุนแรง

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้แบบสอบถามพบว่า ตำแหน่งงานปัจจุบันของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ ระดับผู้จัดการโครงการ (43%) ระดับวิศวกร (41%) ระดับสถาปนิก (10%) ระดับหัวหน้าช่าง/ผู้ควบคุมงาน (3%) ระดับอื่นๆ (2%) และระดับผู้จัดการโครงการขึ้นไป (1%) ตามลำดับ กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามมีประสบการณ์ในวิชาชีพ ระหว่าง 5-10 ปี (45%) ระหว่าง 11-15 ปี (34%) ระหว่าง 16-20 ปี (13%) และประสบการณ์ที่น้อยกว่า 5 ปี (8%) ตามลำดับ กลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (77%) ระดับต่ำกว่าปริญญาตรี (19%) ระดับปริญญาโท (3%) และระดับที่สูงกว่าปริญญาโท (1%) ตามลำดับ

5.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ส่งผลกระทบทำให้เกิดความล่าช้า

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แนกสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าออกเป็น 68 สาเหตุ และได้จัดกลุ่มแบ่งประเภทของสาเหตุออกเป็น 8 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยเกี่ยวกับวัสดุ (11 สาเหตุ) ปัจจัยด้านแรงงาน (10 สาเหตุ) ปัจจัยด้านเครื่องมือ (6 สาเหตุ) ปัจจัยด้านการเงิน (7 สาเหตุ) ปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลง (8 สาเหตุ) ปัจจัยด้านแผนงานและ

การควบคุม (15 สาเหตุ) ปัจจัยด้านความสัมพันธ์กับสัญญา (7 สาเหตุ) และปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อม (4 สาเหตุ) ผู้วิจัยทำการเรียงลำดับสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าโดยเรียงลำดับตามลำดับนี้ความรุนแรงจากมากไปน้อย ตารางที่ 1 แสดงถึง 30 อันดับแรกที่ทำให้เกิดความล่าช้ามากที่สุด ผลการวิจัยพบว่าสาเหตุ 10 อันดับแรกที่ทำให้เกิดความล่าช้าได้แก่ การขาดสภาพคล่องทางการเงินของเจ้าของโครงการ วิธีการสื่อสารขาดประสิทธิภาพ การขาดแคลนแรงงาน การอนุมัติแบบล่าช้า การออกแบบผิดพลาดของผู้ออกแบบเนื่องจากไม่ได้สำรวจจากสถานที่จริง ผู้รับเหมาช่วงขาดทักษะการทำงาน วัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเกิดความล่าช้า การจ่ายค่าแรงผู้รับเหมาช่วงล่าช้าไม่เป็นไปตามกำหนด มีความขัดแย้งระหว่างแบบ (Shop drawing) กับรายละเอียด ประกอบแบบ (specification) และการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมาช่วง ตามลำดับ

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยยังพบว่า 10 สาเหตุที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดมาจาก 6 กลุ่มปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัยด้านการเงิน ปัจจัยด้านการวางแผน ปัจจัยด้านแรงงาน ปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยด้านวัสดุ และปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลง โดยที่ใน 10 อันดับแรกนั้นปัจจัยด้านการเงินติดอันดับมากที่สุด (3 อันดับ) รองลงมาคือ ปัจจัยด้านการวางแผน ปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลง และปัจจัยด้านแรงงานมีจำนวนสาเหตุที่ติดอันดับเท่ากัน (2 อันดับ) และสุดท้ายปัจจัยด้านวัสดุ (1 อันดับ) ผลการวิจัยระบุว่าใน 10 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดไม่มีสาเหตุจากปัจจัยด้านเครื่องมือ ปัจจัยด้านความสัมพันธ์กับสัญญา และปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อม ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาจากการจัดลำดับค่าดัชนีความรุนแรงสามารถสรุปได้ว่า สาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ การขาดสภาพคล่องทางการเงินของเจ้าของโครงการ และปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ปัจจัยด้านการเงิน โดยที่ความล่าช้าประเภทนี้เป็นความล่าช้าจากการจัดการภายนอก และเป็นความล่าช้าชนิดที่ให้อภัยได้แบบเรียกชดเชยค่าเสียหายได้ รูปที่ 1 แสดงสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าโดยแผนผังเหตุและผลหรือเรียกอีกชื่อได้ว่าแผนผังก้างปลา ผลการวิเคราะห์ข้อมูลโดยแผนผังก้างปลาระบุว่า ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ปัจจัยด้านการเงิน

เมื่อทำการวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยเกี่ยวกับวัสดุพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านการวัสดุที่นำเข้ามาจากต่างประเทศเกิดความล่าช้า การจัดส่งวัสดุล่าช้า และปัจจัยด้านวัสดุต้องรอการผลิตจากโรงงาน ตามลำดับ

เมื่อทำการวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านแรงงานพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านการขาดแคลนแรงงาน ปัจจัยด้านผู้รับเหมาช่วงขาดทักษะการทำงาน และปัจจัยด้านผู้ควบคุมงานสั่งงานไม่ชัดเจนหรือคนงานไม่เข้าใจคำสั่ง ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านเครื่องมือพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านเครื่องมือชำรุดระหว่างการดำเนินงาน ปัจจัยด้านเครื่องมือขาดประสิทธิภาพในการทำงาน และปัจจัยด้านไม่มีเครื่องมือสำรองเพื่อใช้งาน ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านการเงินพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินของเจ้าของโครงการ ปัจจัยด้านการจ่ายค่าแรงผู้รับเหมาช่วงล่าช้าไม่เป็นไปตามกำหนด และปัจจัยด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมาช่วง ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านการออกแบบผิดพลาดของผู้ออกแบบเนื่องจากไม่ได้สำรวจจากสถานที่จริง ปัจจัยด้านมีความ

ขัดแย้งระหว่างแบบ (Shop drawing) กับรายละเอียด ประกอบแบบ (specification) และ ปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลง วัสดุประสงค์และรายละเอียดโครงการโดยเจ้าของโครงการ ระหว่างการทำงาน ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านแผนงานและการควบคุมพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านวิธีการสื่อสารขาดประสิทธิภาพ ปัจจัยด้านการอนุมัติแบบล่าช้า และ ปัจจัยด้านการบริหารผู้รับเหมาข้อยไม่มีระบบ ตามลำดับ

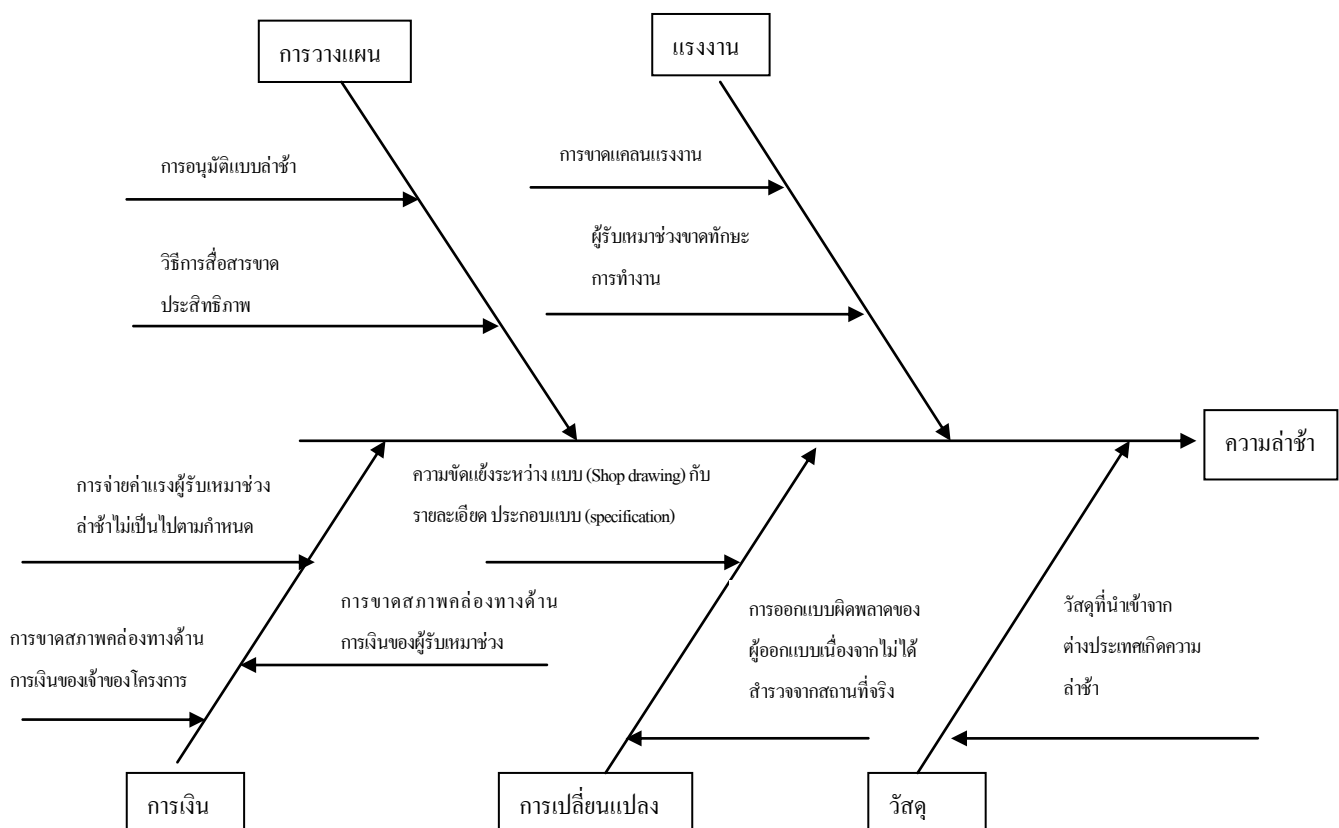
เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านความสัมพันธ์กับสัญญาพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านขาดการประสานงานระหว่างเจ้าของโครงการและผู้ออกแบบในช่วงออกแบบ ปัจจัยด้านความขัดแย้งระหว่างผู้รับเหมากับวิศวกรที่ปรึกษา และปัจจัยด้านความล่าช้าในการตัดสินใจของเจ้าของโครงการ ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์เฉพาะปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อมพบว่าสาเหตุ 3 อันดับแรกที่มีค่าดัชนีความรุนแรงมากที่สุดได้แก่ ความรุนแรงด้านระบบสาธารณูปโภคในโครงการไม่ดีพอ ปัจจัยด้านปัญหาทำเลที่ตั้งโครงการ และปัจจัยด้านปัญหามลพิษหรือข้อขัดแย้งข้างเคียง ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้า

ลำดับ	ปัจจัยความล่าช้าเกี่ยวกับวัสดุ	S.I.	ปัจจัยด้าน
1	การขาดสภาพคล่องทางการเงินของเจ้าของโครงการ	0.638	การเงิน
2	วิธีการสื่อสารขาดประสิทธิภาพ	0.613	การวางแผน
3	การขาดแคลนแรงงาน	0.582	แรงงาน
4	การอนุมัติแบบล่าช้า	0.573	การวางแผน
5	การออกแบบผิดพลาดของผู้ออกแบบเนื่องจากไม่ได้สำรวจจากสถานที่จริง	0.541	การเปลี่ยนแปลง
6	ผู้รับเหมาช่วงขาดทักษะการทำงาน	0.529	แรงงาน
7	วัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศเกิดความล่าช้า	0.505	วัสดุ
8	การจ่ายค่าแรงผู้รับเหมาช่วงล่าช้าไม่เป็นไปตามกำหนด	0.499	การเงิน
9	มีความขัดแย้งระหว่าง แบบ (Shop drawing) กับรายละเอียด ประกอบแบบ (specification)	0.498	การเปลี่ยนแปลง
10	การขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมาช่วง	0.492	การเงิน
11	ผู้ควบคุมงานสั่งงานไม่ชัดเจนหรือคนงานไม่เข้าใจคำสั่ง	0.486	แรงงาน
12	การบริหารผู้รับเหมาข้อยไม่มีระบบ	0.484	การวางแผน
13	การเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์และรายละเอียด โครงการโดยเจ้าของโครงการระหว่างการทำงาน	0.467	การเปลี่ยนแปลง
14	การประสานงานระหว่างผู้เกี่ยวข้องในโครงการขาดประสิทธิภาพ	0.466	การวางแผน
15	ขาดการประสานงานระหว่างเจ้าของโครงการและผู้ออกแบบในช่วงออกแบบ	0.458	สัญญา

16	การอนุมัติตัวอย่างวัสดุลำช้า	0.456	การวางแผน
17	แรงงานขาดทักษะในการทำงาน	0.453	แรงงาน
18	ผู้ควบคุมงานขาดประสบการณ์	0.448	แรงงาน
19	การจัดฟังก์ชันของผู้รับเหมาหรือวิศวกรที่ปรึกษาไม่ดีพอ	0.443	การวางแผน
20	ค่าแรงผู้รับเหมาช่วงที่ต่ำเกินไปทำให้ไม่มีแรงจูงใจในการทำงาน	0.441	การเงิน
21	มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการดำเนินงาน	0.439	การเปลี่ยนแปลง
22	ผู้ควบคุมงานมีจำนวนไม่เพียงพอต่องานที่รับผิดชอบ	0.436	แรงงาน
23	การประมูลงานในราคาต่ำเกินไป	0.433	การเงิน
24	ผู้ควบคุมงานขาดการติดตามงานทำให้เกิดข้อผิดพลาด	0.426	แรงงาน
25	ความขัดแย้งระหว่างผู้รับเหมากับวิศวกรที่ปรึกษา	0.425	สัญญา
26	การจัดส่งวัสดุลำช้า	0.421	วัสดุ
27	ต้นทุนวัสดุที่สูงขึ้น	0.415	การเงิน
28	วัสดุต้องรอการผลิตจากโรงงาน	0.409	วัสดุ
29	มีการเปลี่ยนแปลงแบบระหว่างการทำงาน	0.407	การเปลี่ยนแปลง
30	มีการเปลี่ยนแปลงชนิดและรายละเอียดของวัสดุ	0.398	การเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 1 สาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าโดยแผนผังเหตุและผล

5.3 แนวทางการแก้ไข้ปัญหา

จากการเก็บแบบสอบถาม ผู้วิจัยสามารถสรุปแนวทางการแก้ไข้ปัญหาที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิตของงานก่อสร้างได้ดังนี้

- เจ้าของโครงการควรจะทำวางแผนในการจัดสรรเงินให้รอบคอบตรงตามแผนงาน เพื่อป้องกันปัญหาการขาดสภาพคล่องทางการเงินของเจ้าของโครงการ และจ่ายค่าแรงตามงวดงานตามสัญญาที่ได้ทำการตกลงไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา
- ในกระบวนการออกแบบและการอนุมัติแบบ ผู้ออกแบบควรทำการสำรวจสถานที่จริงก่อนและระหว่างออกแบบ ควรทำการปรับปรุงแบบก่อสร้าง และรายละเอียดประกอบแบบให้สอดคล้องกันเพื่อให้ได้แบบก่อสร้างและรายละเอียดประกอบแบบที่สมบูรณ์ที่สุด
- ผู้ออกแบบควรใช้เวลาในขั้นตอนตรวจสอบแบบก่อสร้างและอนุมัติแบบก่อสร้างให้อยู่ภายในช่วงเวลาที่เหมาะสม ไม่ช้าจนเกินไป
- เจ้าของงานควรตรวจสอบแบบให้ละเอียดก่อนจะอนุมัติให้เริ่มทำงานก่อสร้าง และกำหนดระยะเวลาในการตัดสินใจของเจ้าของโครงการให้ชัดเจน
- เจ้าของงาน ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน และผู้ปฏิบัติงานควรกำหนดกรรมวิธีการสื่อสาร การประสานงาน และการประชุมร่วมกันให้ชัดเจนตามระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด
- ผู้ควบคุมงานควรจะต้องคัดกรองผู้รับเหมาที่มีคุณสมบัติและความชำนาญเหมาะสมกับงาน
- ควรจัดเตรียมระบบสาธารณูปโภคให้เหมาะสมกับจำนวนผู้ปฏิบัติงาน
- ผู้รับเหมาควรเผื่อเวลาสำหรับการนำวัสดุจากต่างประเทศ การผลิตวัสดุภายในประเทศ และการส่งวัสดุในประเทศ
- ผู้รับเหมาควรจะทำวางแผนล่วงหน้าสำหรับปัญหาการขาดแคลนแรงงาน และควรส่งเสริมการพัฒนาทักษะฝีมือในแต่ละด้านให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน
- ในช่วงก่อนและระหว่างการติดตั้งหินอ่อนและหินแกรนิต ผู้รับเหมาควรทำการตรวจสอบสมรรถภาพของเครื่องมือและทำการบำรุงรักษาเครื่องมือให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จัดหาเครื่องมือสำรอง และควรจะใช้เครื่องมือให้ถูกประเภทการทำงาน

6. สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ การขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้เจ้าของโครงการ ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้ามากที่สุดได้แก่ปัจจัยด้านการเงิน โดยที่ความล่าช้าประเภทนี้เป็นความล่าช้าจากการจัดการภายนอก และเป็นความล่าช้าชนิดที่ให้อภัยได้แบบเรียกชดเชยค่าเสียหายได้ แนวทางในการแก้ไข้สำหรับปัญหาด้านการขาดสภาพคล่องทางการเงินได้แก่ เจ้าของโครงการควรจะทำวางแผนในการจัดสรรเงินให้รอบคอบตรงตามแผนงานเพื่อป้องกันปัญหาการขาดสภาพคล่องทางการเงินของเจ้าของโครงการ และจ่ายค่าแรงตามงวดงานตามสัญญาที่ได้ทำการตกลงไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการขาดสภาพคล่องทางการเงินของผู้รับเหมา

7. รายการอ้างอิง

- กณวรรณ มุลพุกย์. 2556. “การศึกษาปัจจัยความล่าช้าระหว่างผู้รับเหมาโครงสร้างและสถาปัตยกรรมกับผู้รับเหมางานระบบในงานก่อสร้างอาคารอุตสาหกรรม.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ณัฐพร เพิ่มทรัพย์. 2544. “การศึกษาสาเหตุและมาตรการป้องกันความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคาร” วิทยานิพนธ์ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ปณิธาน ไชยรักษ์. 2551. “การศึกษาปัจจัยด้านการเงินที่ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารพักอาศัยโดยผู้รับเหมาขนาดเล็ก.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิรพงษ์ เพ็ชรพันธ์. 2557. “การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าภายในโครงการก่อสร้างขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น เขตภาคตะวันตก.” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19 วันที่ 14 – 16 พฤษภาคม 2557 จ.ขอนแก่น.
- พิระพล เดชะคนูวงศ์. 2545. “การคาดการณ์แนวโน้มความล่าช้าในงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่.” การศึกษาเฉพาะเรื่องปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เพ็ญศิริ ดวงศรีแก้ว. 2556. “ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความล่าช้าของงานก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วีระ พลเสนา. 2554. “การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความล่าช้าในโครงการก่อสร้างทางยกระดับรูปแบบคานรูปกล่องและคานรูปตัวไอ.” การศึกษาเฉพาะเรื่อง ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Bramble B. B. and Callahan M.T. 1987. **Construction delay claims**. New York: John Wiley&Sons Inc.
- Promkuntong, K. 1992. “Delay in building construction in Thailand.” Master of engineering thesis, Civil Engineering program Faculty of engineering Asian institute of technology.

**การศึกษาการอนุมัติวัสดุโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า
กรณีศึกษา: โครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง – สมุทรปราการ
STUDY ON APPROVAL OF THE MATERIALS THAT WERE SUBMITTED
FOR USE IN THE CONSTRUCTION OF GREEN LINE
SKY TRAIN PROJECT**

ทศพร เตียรประเสริฐ

ดร.นคร สุริยานนท์

ศิริพล แพงมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

Email: jamecu555@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษากระบวนการและผลลัพธ์ในการอนุมัติวัสดุโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ ด้านวิศวกรรม ด้านบริหาร และด้านบริหารงานก่อสร้างของประเทศไทย ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 18 เดือน ผลการวิจัยพบว่า การอนุมัติวัสดุในงานก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียวแบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอน ผลการอนุมัติวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อนุมัติอนุมัติโดยมีเงื่อนไข ส่งให้ตรวจสอบอีกครั้ง และไม่อนุมัติ วัสดุที่ต้องขออนุมัติในโครงการแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา งานสถาปัตยกรรม และงานระบบและงานบริการอาคาร ในช่วงระยะเวลา 18 เดือนแรกนับจากเริ่มโครงการ มีรายการวัสดุที่ขออนุมัติทั้งสิ้นจำนวน 303 รายการ วัสดุที่มีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติมากที่สุดคือวัสดุงานวิศวกรรมโยธา วัสดุที่มีโอกาสจะได้รับการอนุมัติสูงที่สุดในหมวดงานวิศวกรรมโยธาหมวดงานสถาปัตยกรรม และหมวดงานระบบและบริการอาคาร ได้แก่ วัสดุงาน Pilling and diagram walling งาน Wall finish และงาน Mechanical ventilating and air conditioning system ตามลำดับ

คำสำคัญ: รถไฟฟ้า ก่อสร้าง โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว การขออนุมัติวัสดุ การบริหารงานก่อสร้าง

ABSTRACT

The researchers studied both the process and result of the decision on approval of materials that were submitted by the contractor to the supervisor in the green line sky train construction project. The expectation from this study is that new knowledge in the field of civil engineering, management, and construction management will be obtained. The green line sky train runs between Bearing and Samutprakarn. The data on

approval during the 18 month period from May 2013 to December 2014 were collected. The process of approval was divided into 9 steps. The result of the decision on approval could be categorized into 4 types (1) approval (2) approval with conditions (3) approval pending on resubmission (4) rejection. The types of materials that must be submitted for approval were (1) the materials related to civil engineering work (2) the materials related to architectural work (3) the materials related to the system and building work. During this 18 month period, 303 items were submitted for approval. The materials related to civil engineering work had the highest percentage of approval. Among the materials related to civil engineering work, piling and diaphragm walling had the highest percentage of approval. And among the materials related to architectural work, wall finish had the highest percentage of approval. Regarding the system and building work, mechanical ventilating and air conditioning system had the highest percentage of approval.

KEYWORD: green line sky train, construction, approval of materials, construction management

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีแนวโน้มการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมสูงมาก ส่งผลให้ความต้องการด้านการคมนาคมในประเทศมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย การขนส่งมวลชน (Mass transportation) หมายถึง การเคลื่อนย้าย ขนถ่ายบุคคล จากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง โดยใช้ยานพาหนะในการเคลื่อนย้ายหรือขนถ่าย (ประชด ไกรเนตร, 2541) การขนส่งมวลชนทางบกเป็นรูปแบบของการขนส่งมวลชนที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเทศไทย (สลิลาทิพย์ ทิพย์ไกรสร, 2554) แต่ปัจจุบันการพัฒนาด้านการขนส่งมวลชนทางบกของประเทศไทยเริ่มทำได้ยากขึ้น โดยเฉพาะเมืองหลวงของประเทศไทย ระบบขนส่งมวลชนแบบรถไฟฟ้าจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะจากสามารถแก้ปัญหาการจราจรติดขัดในเมืองใหญ่ได้ ประหยัดค่าเชื้อเพลิง ใช้ระยะเวลาในการเดินทางที่รวดเร็ว

ประเภทของงานก่อสร้าง สามารถแบ่งออกตามลักษณะของงานได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ งานก่อสร้างที่อยู่อาศัย (Residential construction) งานก่อสร้างเพื่อธุรกิจการค้า (Building construction for business) งานก่อสร้างด้านอุตสาหกรรม (Industrial construction) และงานก่อสร้างขนาดใหญ่ หรืองานสาธารณูปโภค (Heavy engineering or Infrastructure construction) (วิสูตร จิระคำแก, 2553; วิสูตร จิระคำแก, 2556) โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ของประเทศไทย ซึ่งในงานก่อสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่ นั้นประกอบด้วยขั้นตอนกระบวนการปฏิบัติงานมากมาย หนึ่งในขั้นตอนการทำงานที่อาจส่งผลกระทบต่อการบริหารโครงการได้แก่ขั้นตอนการอนุมัติวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้าของประเทศไทย (สฤณรัชต์ วงษ์วิจิตร, 2553; พันธร์ สุขสิงห์ และวันชัย ทรัพย์สิงห์, 2554; สุริโย นุมี และวรรณวิทย์ แด้มทอง, 2557) ผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีการศึกษาถึงรายละเอียด ขั้นตอน ผลลัพธ์ ในกระบวนการขออนุมัติวัสดุในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการอนุมัติวัสดุโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ้ง-สมุทรปราการ เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ด้านบริหาร ด้านวิศวกรรม และด้าน

บริหารงานก่อสร้างของประเทศไทย ซึ่งจะนำไปสู่การปรับปรุงผลิตภาพงานก่อสร้างของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษากระบวนการและผลลัพธ์ในการอนุมัติวัสดุ โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ

3. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

ผลิตภาพ (Productivity) หมายถึง “ความสามารถในการผลิต คุณสมบัติหรือสภาพแห่งการผลิต” ผลิตภาพที่สูงขึ้นหมายถึงประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้น (วิสูตร จิระคำเกิง, 2553; วิสูตร จิระคำเกิง, 2556) วิสูตร จิระคำเกิง (2553) ทำการแบ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลิตภาพงานก่อสร้างออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ปัจจัยภายนอก หมายถึง ปัจจัยที่อยู่นอกขอบเขตการควบคุมของผู้ก่อสร้าง เช่น เจ้าของงาน สภาพแวดล้อมของงานก่อสร้าง และธรรมชาติของธุรกิจก่อสร้าง และปัจจัยภายใน หมายถึงปัจจัยที่อยู่ภายในขอบเขตการควบคุมของผู้ก่อสร้าง เช่น การจัดการเทคโนโลยี คนงาน และสภาพแรงงาน

การบริหารโครงการ (Project management) คือการจัดการดำเนินโครงการให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยการใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่อย่างเหมาะสม ให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด โดยที่ทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินงานบริหารโครงการได้แก่ บุคลากร เครื่องมือ งบประมาณ ฯลฯ ดังนั้นการดำเนินการบริหารโครงการ จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติให้ชัดเจน เพื่อนำไปสู่แนวทางปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ โดยปรกติแล้วเป้าหมายในการดำเนินโครงการสามารถแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบหลักได้แก่ ต้นทุน เวลา และคุณภาพ การจะควบคุมบริหารโครงการให้เกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดนั้นผู้บริหารโครงการต้องเข้าใจถึงวงจรชีวิตโครงการ (Project life cycle) ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ช่วงได้แก่ ช่วงกำหนดโครงการ (Defining the project) ช่วงวางแผน (Planning) ช่วงปฏิบัติโครงการ (Project implementing) และช่วงปิดโครงการ (Project closing) (วิสูตร จิระคำเกิง, 2553, วิสูตร จิระคำเกิง, 2556)

การศึกษการทำงาน (Work study) หมายถึง การศึกษาวิธีทำงานซึ่งใช้ในการศึกษาปัญหากระบวนการทำงานก่อสร้างเพื่อพัฒนาวิธีทำงานที่ดีขึ้นกว่าเดิม กรรมวิธีการศึกษาวิธีทำงานสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนได้แก่ เลือกรงานหรือกิจกรรมที่จะทำการศึกษา บันทึกรายละเอียดการทำงานในปัจจุบัน ตรวจสอบวิธีทำงานปัจจุบัน พัฒนาวีการทำงานใหม่ นำวิธีทำงานที่พัฒนาขึ้นไปปฏิบัติ และ ติดตามประเมินผลการปฏิบัติ (วิสูตร จิระคำเกิง, 2553, วิสูตร จิระคำเกิง, 2556)

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการขออนุมัติวัสดุของโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียวตั้งแต่ พฤษภาคม 2556 ถึง ธันวาคม 2557 รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 18 เดือน แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage)

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโครงการ

โครงการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ เป็นโครงการที่ได้รับมติเห็นชอบโดยคณะรัฐมนตรีให้การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) ให้ดำเนินการก่อสร้าง ในการดำเนินการก่อสร้างมีผู้ว่าจ้างคือ รฟม.(MRTA) มีกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาได้แก่ บริษัท โซติจินดา มูเชล คอนซัลแตนท์ จำกัด (GBSC) และมีผู้รับเหมาหลักได้แก่ บริษัท ช.การช่าง จำกัด (มหาชน) (CK) มีระยะเวลาก่อสร้างตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2555 ถึงวันที่ 4 พฤศจิกายน 2559 รวมเวลาทั้งสิ้น 1,680 วัน โครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ เป็นโครงสร้างรถไฟฟ้าแบบยกระดับตลอดทาง มีระยะทางทั้งสิ้นประมาณ 13 กิโลเมตร เป็นระบบรถไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Heavy rail transit system) มีแนวเส้นทางเริ่มต้นต่อเนื่องจากแนวเส้นทางโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ส่วนต่อขยายสุขุมวิท ตอนที่ 1 ช่วงอ่อนนุช-แบริ่ง ไปตามแนวเกาะกลางของถนนสุขุมวิท จนถึงจุดสิ้นสุดโครงการบริเวณหน้าสถานีรถไฟฟ้าอย่างบางปิ มีสถานียกระดับจำนวนทั้งสิ้น 9 สถานี สิ่งก่อสร้างในโครงการนี้ครอบคลุมไปถึงศูนย์ซ่อมบำรุง (Depot) ซึ่งประกอบด้วย อาคารบริหาร ศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการเดินรถ อาคารซ่อมบำรุงหลัก อาคารจอดรถไฟฟ้า รางทดสอบ และอาคารอื่นๆ ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นที่ประมาณ 123 ไร่ บริเวณสถานีไฟฟ้าอย่างบางปิ และประกอบด้วยอาคารจอดรถ (Park and Ride) ซึ่งตั้งอยู่บริเวณสถานีเคหะสมุทรปราการ เนื้อที่ประมาณ 18 ไร่

5.2 ขั้นตอนการอนุมัติวัสดุ

การอนุมัติวัสดุมิ่ววัสดุประสงค์หลักเพื่อควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างให้ได้มาตรฐานตามที่ตกลงไว้ เป็นการตรวจสอบให้ผู้รับจ้างใช้วัสดุตรงตามที่ระบุไว้ในสัญญาและรายการประกอบแบบ ผู้วิจัยพบว่าขั้นตอนการอนุมัติวัสดุนำมาใช้ในงานก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียวประกอบด้วย 9 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 ผู้ปฏิบัติงานด้านเทคนิค (Technical analyzer: TA) ฝ่ายวิศวกรรมโยธา ฝ่ายสถาปัตยกรรม และฝ่ายงานระบบ ของกลุ่มผู้รับเหมาทำการศึกษารายละเอียดสัญญาและข้อกำหนดของโครงการ ขั้นตอนที่ 2 TA จัดทำแผนขออนุมัติวัสดุและประสานงานกับฝ่ายจัดซื้อ ขั้นตอนที่ 3 TA ทำการคัดเลือกผู้จัดจำหน่ายวัสดุ (Supplier) ที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ ขั้นตอนที่ 4 TA ประสานงานกับผู้จัดจำหน่ายวัสดุ รวบรวมข้อมูล ผลทดสอบ และเอกสารอื่นๆที่จะนำมาใช้ในการขออนุมัติ ขั้นตอนที่ 5 TA ประสานงานกับวิศวกรประกันคุณภาพ (Quality assurance engineer) ของกลุ่มผู้รับเหมา ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาขออนุมัติ ขั้นตอนที่ 6 TA และ วิศวกรประกันคุณภาพส่งข้อมูลวัสดุที่ขออนุมัติให้กับตัวแทนบริษัทที่ปรึกษา ขั้นตอนที่ 7 TA และวิศวกรประกันคุณภาพพาตัวแทนบริษัทที่ปรึกษา ไปเยี่ยมชมโรงงานที่ผลิตวัสดุนั้นๆ เพื่อตรวจสอบศักยภาพของวัสดุที่ขออนุมัติ ขั้นตอนที่ 8 ตัวแทนบริษัทที่ปรึกษาพิจารณาผลการอนุมัติวัสดุ และขั้นตอนที่ 9 ตัวแทนบริษัทที่ปรึกษาแจ้งผลการอนุมัติวัสดุต่อ TA

5.3 รายการวัสดุที่ขออนุมัติ

ผลการวิจัยพบว่าในงานก่อสร้างรถไฟฟ้าทั้งสามสามารถแบ่งประเภทของวัสดุที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา วัสดุงานสถาปัตยกรรม และวัสดุงานระบบและบริการอาคาร ตารางที่ 1 แสดงรายการวัสดุมิ่ววัสดุงานวิศวกรรมโยธา ผู้วิจัยพบว่า สามารถแบ่งประเภทของวัสดุงานวิศวกรรมโยธาที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่ งาน Earthworks, งาน Pilling and diaphragm walling, งาน Structures, งาน

Steelworks, งาน Cut and cover construction, งาน Road works and drainage works และงาน Miscellaneous-civil and structural works ตารางที่ 2 แสดงรายการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรม ผู้วิจัยพบว่า สามารถแบ่งประเภทของวัสดุงานสถาปัตยกรรมที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 10 ประเภท ได้แก่ งาน Floor finishes งาน Wall base งาน Wall finishes งาน Celing งาน Roofing งาน Toilet and accessories งาน Stairs and railing งาน Conveying systems งาน Doors and windows และงาน Miscellaneous architectural works ตารางที่ 3 แสดงรายการอนุมัติวัสดุงานระบบและบริการอาคาร ผู้วิจัยพบว่า สามารถแบ่งประเภทของวัสดุในงานระบบและบริการอาคารที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่ งาน Floor finishes, งาน Mechanical ventilating and air conditioning system งาน Plumbing system งาน Fire protection system งาน People mover (Elevator, Escalator and travelator) และงาน Compressed air equipment

ตารางที่ 1 การอนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาที่นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว

ประเภทของวัสดุ	CODE 1	CODE 2	CODE 3	CODE 4	รวม
Earthworks	0	0	0	0	0
Pilling and diaphragm walling	5	0	0	0	5
Structures	68	12	11	0	91
Steel works	27	6	1	0	34
Cut and cover construction	0	0	0	0	0
Road works and drainage works	7	4	1	0	12
Miscellaneous-civil and structural works	0	0	0	0	0

ตารางที่ 2 การอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมที่นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว

ประเภทของวัสดุ	CODE 1	CODE 2	CODE 3	CODE 4	รวม
Floor finishes	0	40	6	0	46
Wall base	0	0	0	0	0
Wall finishes	6	33	3	0	42
Celing	0	7	0	0	7
Roofing	1	8	0	0	9
toilet and accessories	0	4	0	0	4
Stairs and railing	0	0	0	0	0
Conveying system	0	0	0	0	0
Door and windows	0	7	3	0	10
Miscellaneous architectural works	1	18	2	0	21

ตารางที่ 3 การอนุมัติวัสดุงานระบบและงานบริการอาคารที่นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว

ประเภทของวัสดุ	CODE 1	CODE 2	CODE 3	CODE 4	รวม
Floor finishes	1	3	1	0	5
Mechanical ventilating and air conditioning system	7	2	0	0	9
Plumbing system	3	2	1	0	6
Fire protection system	0	0	0	0	2
People mover (Elevator, Escalator and travelator)	0	2	0	0	2
Compressed air equipment	0	0	0	0	0

ผลการวิจัยระบุว่าในช่วงระยะเวลา 18 เดือนแรกนับจากเริ่มโครงการ มีรายการวัสดุที่ขออนุมัติเพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้างรถไฟฟ้าจำนวน 303 รายการ เป็นรายการวัสดุงานวิศวกรรมโยธา 142 รายการ คิดเป็นร้อยละ 46.86 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ เป็นรายการวัสดุงานสถาปัตยกรรม 139 รายการ คิดเป็นร้อยละ 45.87 ของวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ และเป็นรายการวัสดุงานบริการอาคาร 22 รายการ คิดเป็นร้อยละ 7.26 ของวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ประเภทของวัสดุที่ขออนุมัติเป็นปริมาณมากที่สุดได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา จากตารางที่ 1 พบว่า วัสดุงาน Structures เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติมากที่สุดในโครงการ มีการขออนุมัติ 91 รายการ คิดเป็นร้อยละ 64.01 ของจำนวนวัสดุงานวิศวกรรมโยธาทั้งหมดที่ขออนุมัติ หรือคิดเป็นร้อยละ 30.03 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติในโครงการ จากตารางที่ 2 พบว่าเมื่อพิจารณาวัสดุงานสถาปัตยกรรม วัสดุงาน Floor finishes เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติใช้มากที่สุด โดยมีการขออนุมัติเป็นจำนวน 46 รายการ คิดเป็นร้อยละ 33.56 ของจำนวนวัสดุสถาปัตยกรรมทั้งหมดที่ขออนุมัติ หรือคิดเป็นร้อยละ 16.17 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติใช้ในโครงการ จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาวัสดุงานระบบและบริการอาคารที่ถูกนำมาขออนุมัติ พบว่าวัสดุประเภทงาน Mechanical ventilating and air conditioning system ถูกนำมาขออนุมัติใช้มากที่สุด โดยมีการขออนุมัติเป็นจำนวน 9 รายการ คิดเป็นร้อยละ 40.91 ของจำนวนวัสดุบริการอาคารทั้งหมดที่ขออนุมัติ หรือคิดเป็นร้อยละ 2.97 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติใช้ในโครงการ และผู้วิจัยพบว่าในวัสดุในหมวดงานบริการอาคารประเภท ไม่มีการขออนุมัติวัสดุประเภทงาน Compressed air equipment

5.4 ผลการขออนุมัติวัสดุ

ผู้วิจัยพบว่าในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าผลของการขออนุมัติวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อนุมัติ (Approved: Code 1) อนุมัติโดยมีเงื่อนไข (Approved as notes: Code 2) ส่งให้ตรวจสอบอีกครั้ง (Resubmit: Code 3) และไม่อนุมัติ (Reject: Code 4)

กรณี อนุมัติ (Approved: Code 1)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลผลการอนุมัติวัสดุ ผู้วิจัยพบว่า วัสดุงานวิศวกรรมโยธาได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 107 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 142 รายการ คิดเป็นร้อยละ 75.35 จากจำนวนวัสดุงานวิศวกรรมโยธาทั้งหมดที่ยื่นขออนุมัติ วัสดุงานสถาปัตยกรรมได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 8 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 139 รายการ คิดเป็นร้อยละ 5.75 จากจำนวนวัสดุงานสถาปัตยกรรมทั้งหมดที่ยื่นขออนุมัติ และวัสดุงานระบบและบริการอาคารได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 11 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 22 รายการ คิดเป็นร้อยละ 50.00 จากจำนวนวัสดุงานระบบและงานบริการทั้งหมดที่ยื่นขออนุมัติ จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า การยื่น

ขออนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยชามีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติวัสดุมากกว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรม และวัสดุงานระบบและงานบริการอาคาร และสามารถสรุปได้ว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรมเป็นวัสดุมีโอกาที่จะได้รับการอนุมัติวัสดุน้อยที่สุดในวัสดุทั้ง 3 ประเภทที่พิจารณา

เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยชามีพบว่า จาก วัสดุที่ได้รับการอนุมัติมากที่สุดในหมวดนี้ได้แก่วัสดุงาน Structure วัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดในหมวดงานวิศวกรรมโยชามีได้แก่ วัสดุประเภทงาน Pilling and diagram walling คิดเป็นร้อยละ 100 จากจำนวนครั้งที่ขึ้นขออนุมัติ และวัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติต่ำที่สุดในหมวดงานวิศวกรรมโยชามีได้แก่ วัสดุงานระบบ Roadwork and drainage work คิดเป็นร้อยละ 58.33 จากจำนวนครั้งที่ขึ้นขออนุมัติ

ในการพิจารณาการอนุมัติวัสดุในหมวดงานสถาปัตยกรรมผู้วิจัยพบว่า วัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดในหมวดงานสถาปัตยกรรมได้แก่ วัสดุงาน Wall finish คิดเป็นร้อยละ 14.29 จากจำนวนครั้งที่ขึ้นขออนุมัติ วัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านน้อยที่สุดในหมวดงานสถาปัตยกรรมได้แก่ วัสดุงาน Ceiling งาน Toilet and accessories และงาน Door and widows คิดเป็นร้อยละ 0 จากจำนวนครั้งที่ขึ้นขออนุมัติ

เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานระบบและงานบริการอาคารพบว่า วัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดในหมวดงานระบบและงานบริการอาคารได้แก่ วัสดุงานประเภทงาน Mechanical ventilating and air conditioning system คิดเป็นร้อยละ 77.78 จากจำนวนครั้งที่ขึ้นขออนุมัติ และผู้วิจัยยังพบว่า วัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านน้อยที่สุดได้แก่ วัสดุงานประเภท Fire protection system และประเภทPeople mover (Elevator, Escalator and travelator) คิดเป็นร้อยละ 0 จากจำนวนครั้งที่ขึ้นขออนุมัติ

กรณีอนุมัติโดยมีเงื่อนไข (Approved as notes: Code 2)

ผู้วิจัยพบว่าในโครงการก่อสร้างนี้ วัสดุในหมวดงานวิศวกรรมโยชามีการขออนุมัติแล้วอนุมัติโดยมีเงื่อนไขเป็นจำนวน 22 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 142 รายการ คิดเป็นร้อยละ 15.49 จากรายการวัสดุงานวิศวกรรมโยชามีทั้งหมดที่ขออนุมัติ จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่าวัสดุที่ได้รับการอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดในหมวดงานวิศวกรรมโยชามีได้แก่วัสดุงาน ประเภท Structure คิดเป็นร้อยละ 54.55 ของจำนวนการอนุมัติวัสดุโดยมีเงื่อนไขทั้งหมดในหมวดงานวิศวกรรมโยชามี ประเภทของวัสดุที่มีอัตราการขึ้นขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดในหมวดงานวิศวกรรมโยชามีที่สุดได้แก่ วัสดุประเภทงาน Road works and drainage works คิดเป็นร้อยละ 33.33 จากจำนวนครั้งที่ขออนุมัติ ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์เงื่อนไขในการอนุมัติทั้งหมดที่ผู้รับเหมาต้องปฏิบัติในหมวดงานวิศวกรรมโยชามีพบว่าสามารถแบ่งประเภทของเงื่อนไขทั้งหมดออกเป็น 8 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 วัสดุต้องได้รับการทดสอบ ประเภทที่ 2 ต้องการใบรับรองผลทดสอบ,ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์ ประเภทที่ 3 ทางที่ปรึกษาต้องการให้ส่งรายละเอียดหรือทำการเพิ่มเติม,แก้ไขในแบบก่อสร้าง ประเภทที่ 4 วัสดุที่ใช้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงวัสดุ ประเภทที่ 5 ทางที่ปรึกษาต้องการข้อมูลเพิ่มเติมและรายละเอียดเพิ่มเติม ประเภทที่ 6 เอกสารที่นำเสนอมีปัญหาหรือให้บททวนเอกสารใหม่ ประเภทที่ 7 ทางที่ปรึกษาให้แนวทางแก้ไข,ข้อเสนอแนะมาเพื่อให้ดำเนินการแก้ไขจำนวน หรือรายการอนุมัติก่อน และประเภทที่ 8 ทางที่ปรึกษาให้ส่งวิธีการทดสอบวัสดุ ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า

เงื่อนไขในการอนุมัติวัสดุโดยมีเงื่อนไขที่พบบ่อยที่สุดในงานวิศวกรรมโยธาได้แก่ เงื่อนไขข้อที่ 7 คิดเป็นร้อยละ 50 จากจำนวนเงื่อนไขทั้งหมดในการอนุมัติโดยมีเงื่อนไขในหมวดงานวิศวกรรมโยธา

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในหมวดงานสถาปัตยกรรมพบว่า มีการขออนุมัติแล้วอนุมัติแบบมีเงื่อนไขเป็นจำนวน 117 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 139 รายการ คิดเป็นร้อยละ 84.17 จากรายการวัสดุงานสถาปัตยกรรมทั้งหมดที่ขออนุมัติ เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมพบว่า วัสดุที่ได้รับการอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่วัสดุงาน Floor finishes คิดเป็นร้อยละ 34.19 ของจำนวนการอนุมัติวัสดุโดยมีเงื่อนไขทั้งหมดในหมวดงานสถาปัตยกรรม วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุงาน Roofing คิดเป็นร้อยละ 88.89 จากจำนวนครั้งที่ขออนุมัติจากการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วน of เงื่อนไขในการอนุมัติทั้งหมดที่ผู้รับเหมาต้องปฏิบัติ ผู้วิจัยพบว่าสามารถแบ่งประเภทของเงื่อนไขในการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมได้เป็น 9 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 วัสดุต้องได้รับการทดสอบ ประเภทที่ 2 ต้องการใบรับรองผลทดสอบ, ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์ ประเภทที่ 3 ทางที่ปรึกษาต้องการให้ส่งรายละเอียดหรือทำการเพิ่มเติม, แก้ไขในแบบก่อสร้าง ประเภทที่ 4 วัสดุที่ใช้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงวัสดุ ประเภทที่ 5 ต้องการตัวอย่างของวัสดุ ประเภทที่ 6 ต้องการเยี่ยมชมโรงงานผลิตวัสดุ ประเภทที่ 7 ทางที่ปรึกษาต้องการข้อมูลเพิ่มเติมและรายละเอียดเพิ่มเติม ประเภทที่ 8 เอกสารที่นำเสนอมีปัญหาหรือให้บทวนเอกสารใหม่ และประเภทที่ 9 ทางที่ปรึกษากำหนดรายละเอียดมาให้ ผลการวิจัยระบุว่าเงื่อนไขที่พบบ่อยสุดในการอนุมัติวัสดุโดยมีเงื่อนไขในหมวดงานสถาปัตยกรรมได้แก่ เอกสารที่นำเสนอมีปัญหาหรือให้บทวนเอกสารใหม่ คิดเป็นร้อยละ 30.77 จากจำนวนเงื่อนไขทั้งหมดในการอนุมัติโดยมีเงื่อนไขในหมวดงานสถาปัตยกรรม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการอนุมัติวัสดุโดยมีเงื่อนไขในหมวดงานระบบและงานบริการอาคารระบุว่า ในโครงการนี้มีการอนุมัติแบบมีเงื่อนไขเป็นจำนวน 9 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 22 รายการ คิดเป็นร้อยละ 40.91 จากรายการวัสดุงานระบบและบริการอาคารทั้งหมดที่ขออนุมัติ ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ในหมวดงานระบบและบริการอาคาร วัสดุที่ได้รับการอนุมัติโดยมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุงาน Floor finishes คิดเป็นร้อยละ 33.33 จากจำนวนการอนุมัติวัสดุโดยมีเงื่อนไขทั้งหมดในหมวดงานระบบและบริการอาคาร วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุประเภทงาน People mover (Elevator, Escalator and travelator) คิดเป็นร้อยละ 100 จากจำนวนครั้งที่ยื่นขออนุมัติทั้งหมด ผลวิเคราะห์เงื่อนไขทั้งหมดที่ผู้รับเหมาต้องปฏิบัติ ผู้วิจัยพบว่าสามารถแบ่งประเภทของเงื่อนไขในการอนุมัติวัสดุในหมวดงานระบบและบริการอาคารแบบมีเงื่อนไขออกเป็น 5 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 ต้องการใบรับรองผลทดสอบ, ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์ ประเภทที่ 2 ทางที่ปรึกษาต้องการให้ส่งรายละเอียดหรือทำการเพิ่มเติม, แก้ไขในแบบก่อสร้าง ประเภทที่ 3 ทางที่ปรึกษาต้องการข้อมูลเพิ่มเติมและรายละเอียดเพิ่มเติม ประเภทที่ 4 ต้องการตัวอย่างของวัสดุ และประเภทที่ 5 ทางที่ปรึกษาให้แนวทางแก้ไข, ข้อเสนอแนะ มาเพื่อให้ดำเนินการแก้ไขจำนวน หรือรอการอนุมัติก่อน จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า เงื่อนไขที่พบบ่อยสุดในการอนุมัติวัสดุแบบมีเงื่อนไขในหมวดงานระบบและบริการอาคารคือ ทางที่ปรึกษาให้แนวทางแก้ไข, ข้อเสนอแนะมาเพื่อให้ดำเนินการแก้ไขจำนวน หรือรอการอนุมัติก่อน คิดเป็นร้อยละ 33.33 จากจำนวนเงื่อนไขทั้งหมดในการอนุมัติโดยมีเงื่อนไขในหมวดงานระบบและบริการอาคาร

กรณีส่งให้ตรวจสอบอีกครั้ง (Resubmit: Code 3)

ผลการวิจัยระบุว่า วัสดุงานวิศวกรรมโยธามีการขออนุมัติแล้วต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งเป็นจำนวน 13 รายการจากจำนวนการขออนุมัติทั้งหมด 142 รายการ คิดเป็นร้อยละ 9.15 จากรายการวัสดุงานวิศวกรรมโยธาทั้งหมดที่ขออนุมัติ งานสถาปัตยกรรมมีการขออนุมัติแล้วต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งเป็นจำนวน 14 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 139 รายการ คิดเป็นร้อยละ 10.07 จากรายการวัสดุงานสถาปัตยกรรมทั้งหมดที่ขออนุมัติ งานระบบและบริการอาคารมีการขออนุมัติแล้วต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งเป็นจำนวน 2 รายการ จากจำนวนการขออนุมัติ 22 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 9.09 จากรายการวัสดุงานระบบและบริการอาคารทั้งหมดที่ขออนุมัติ

เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาพบว่า วัสดุที่มีอัตราการใช้ขออนุมัติแล้วมีโอกาสต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งมากที่สุดได้แก่ วัสดุงาน Structures คิดเป็นร้อยละ 12.09 จากจำนวนการอนุมัติวัสดุในหมวดนี้ เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมพบว่า ประเภทของวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติแล้วมีโอกาสต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งมากที่สุดได้แก่ วัสดุประเภท Floor finishes คิดเป็นร้อยละ 13.04 จากจำนวนการอนุมัติวัสดุในหมวดนี้ เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานระบบและบริการอาคารพบว่า ประเภทของวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติแล้วมีโอกาสต้องส่งเอกสารอีกครั้งมากที่สุดได้แก่ วัสดุประเภท Floor finishes คิดเป็นร้อยละ 20 จากจำนวนการอนุมัติวัสดุในหมวดนี้

ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งในการขออนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาสารภาพได้แก่ 4 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุที่ 1 วัสดุที่ใช้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงวัสดุ สาเหตุที่ 2 ต้องการใบรับรองผลทดสอบ, ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์ สาเหตุที่ 3 ทางที่ปรึกษาให้แนวทางแก้ไข, ข้อเสนอแนะ มาเพื่อให้ดำเนินการแก้ไขจำนวน หรือรอการอนุมัติก่อน และ สาเหตุที่ 4 เอกสารที่นำเสนอมีปัญหาหรือให้บทวนเอกสารใหม่ โดยที่สาเหตุที่พบบ่อยสุดในงานวิศวกรรมโยธาคือ ทางที่ปรึกษาให้แนวทางแก้ไข, ข้อเสนอแนะมาเพื่อให้ดำเนินการแก้ไขจำนวน หรือรอการอนุมัติก่อนคิดเป็นร้อยละ 76.92 จากจำนวนสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้ผู้รับเหมาต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งในหมวดงานวิศวกรรมโยธา ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งในการขออนุมัติวัสดุงานสถาปัตย์ มี 4 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุที่ 1 วัสดุที่ใช้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงวัสดุ สาเหตุที่ 2 ต้องการใบรับรองผลทดสอบ, ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์ สาเหตุที่ 3 เอกสารที่นำเสนอมีปัญหาหรือให้บทวนเอกสารใหม่ และสาเหตุที่ 4 ทางที่ปรึกษาต้องการข้อมูลเพิ่มเติมและรายละเอียดเพิ่มเติม โดยที่ในการวิจัยนี้สาเหตุที่พบบ่อยสุดในหมวดงานสถาปัตย์ได้แก่ ต้องการใบรับรองผลทดสอบ, ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์คิดเป็นร้อยละ 50.00 จากจำนวนสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้ผู้รับเหมาต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งในหมวดงานสถาปัตยกรรม โยธา ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งในการขออนุมัติวัสดุงานระบบและบริการอาคารสามารถแบ่งได้เป็น 2 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุที่ 1 ต้องการใบรับรองผลทดสอบ, ใบชี้แจงจากเจ้าของผลิตภัณฑ์ และสาเหตุที่ 2 วัสดุที่ใช้ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือมีความต้องการที่จะเปลี่ยนแปลงวัสดุ

กรณีไม่อนุมัติ (Reject: Code 4)

จากการขออนุมัติวัสดุเพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีแดง ผู้วิจัยพบว่าไม่มีผลการขออนุมัติวัสดุรายการใดเลยที่ไม่อนุมัติ

6. สรุปผลการวิจัย

การอนุมัติวัสดุเพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียวสามารถแบ่งออกเป็น 9 ขั้นตอน ผลของการขออนุมัติวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อนุมัติ อนุมัติโดยมีเงื่อนไข ส่งให้ตรวจสอบอีกครั้ง และไม่อนุมัติ ประเภทของวัสดุที่ต้องขออนุมัติสามารถออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา วัสดุงานสถาปัตยกรรม และวัสดุงานระบบและงานบริการอาคาร ในช่วงระยะเวลา 18 เดือนแรกนับจากเริ่มโครงการ มีรายการวัสดุที่ขออนุมัติทั้งสิ้นจำนวน 303 รายการ ประเภทของวัสดุที่ขออนุมัติเป็นปริมาณมากที่สุดได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา วัสดุประเภท Structures เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติมากที่สุดในโครงการคิดเป็นร้อยละ 30.03 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติในโครงการ การยื่นขออนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธามีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติวัสดุมากกว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรม และวัสดุงานระบบและงานบริการอาคาร และสามารถสรุปได้ว่า วัสดุงานสถาปัตยกรรมเป็นวัสดุที่มีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติวัสดุน้อยที่สุดในวัสดุทั้ง 3 ประเภทที่พิจารณา วัสดุที่มีอัตราการยื่นขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดที่สุดในหมวดงานวิศวกรรมโยธา หมวดงานสถาปัตยกรรม และหมวดงานระบบและงานบริการอาคาร ได้แก่ วัสดุประเภทงาน Pilling and diagram walling งาน Wall finish และงาน Mechanical ventilating and air conditioning system ตามลำดับ

7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำข้อมูลการวิจัยนี้ไปใช้คือ เจ้าของโครงการก่อสร้าง กลุ่มบริษัทที่ปรึกษา และกลุ่มผู้รับเหมาที่ทำงานและผู้ที่กำลังมีแผนจะทำงานด้านโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า มีข้อมูลประกอบการวางแผนและการตัดสินใจที่มากขึ้น เข้าใจโครงสร้างการบริหารการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าในส่วนของการขออนุมัติวัสดุ เข้าใจถึงประเภท ปริมาณ และผลการขออนุมัติวัสดุที่ต้องขออนุมัติเพื่อนำมาใช้ในโครงการ ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการวางแผนการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าโครงการอื่น ทำให้โครงการก่อสร้างนั้นๆ เป็นการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งในองค์ประกอบด้านเวลา งบประมาณ ค่าใช้จ่าย และคุณภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรจะนำเอาข้อมูลด้านเวลาที่ใช้ในการขออนุมัติวัสดุแต่ละรายการ รวมถึงเวลาที่สูญเสียไปในการนำวัสดุมาขออนุมัติใหม่ มาบูรณาการเข้ากับข้อมูลจากงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อที่จะได้สร้างองค์ความรู้เชิงลึกด้านผลกระทบจากการขออนุมัติวัสดุ ซึ่งข้อมูลตรงส่วนนี้น่าจะทำให้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสามารถวางแผนป้องกัน และปรับปรุงคุณภาพในการก่อสร้าง ไม่ให้เกิดปัญหาความล่าช้า และปัญหาอื่นๆ ที่เกิดจากขั้นตอนการขออนุมัติวัสดุได้ ทำให้โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ (Productivity) ที่สูงขึ้น

8. รายการอ้างอิง

ประชิด ไกรเนตร. 2541 การขนส่งผู้โดยสาร (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
 สติลาทิพย์ ทิพย์ไกรสร. 2554. “ประเทศไทย...เริ่มต้น พัฒนาระบบขนส่งมวลชนอย่างไร” วารสารนักบริหาร.

ปีที่ 31 (4) 55-58

วิสูตร จิระคำแข็ง. 2553. การบริหารงานวิศวกรรมโยธา (พิมพ์ครั้งที่ 1). ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ วรณกวี.

วิสูตร จิระคำแข็ง. 2556. การบริหารงานก่อสร้าง (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2). ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ วรณกวี.

- สฤษฎ์รัชต์ วงษ์วิจิตร. 2553. “โครงการศึกษาออกแบบเพื่อปรับปรุงอุทยานการค้ากาน้ำร้อนไฟฟ้าใต้ดินสวน
จตุจักร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- พนตร สุขสิงห์ และวันชัย ทรัพย์สิงห์. 2554. “การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาด
เล็ก.” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 วันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554
จ.ภูเก็ต
- สุริโย บุญมี และวรรณวิทย์ แด้มทอง. 2557. “ผลกระทบของอุปสรรคในงานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้า
ใต้ดิน: กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง.” วารสารวิชาการพระจอมเจ้าพระนครเหนือ. ปีที่ 24 (3)
156-466

การศึกษาการอนุมัติวัสดุโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า
กรณีศึกษา: โครงการรถไฟฟ้าชานเมือง (สายสีแดง) ช่วงบางซื่อ – รังสิต
STUDY ON APPROVAL OF THE MATERIALS THAT WERE SUBMITTED
FOR USE IN THE CONSTRUCTION OF RED LINE SKY TRAIN PROJECT

ศิริพล แพงมี

ดร.นคร สุริยานนท์

ทศพร เตียรประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

Email: jamecu555@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาคัดเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีแดง ช่วงบางซื่อ-รังสิต เพื่อที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ในการวางแผนการบริหารงานก่อสร้างต่างๆ โดยเฉพาะโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด โดยในการวิจัยนี้ทำการศึกษาคัดเลือกงานวิศวกรรมโยธาและวัสดุงานสถาปัตยกรรมเท่านั้น ผลการวิจัยพบว่า ในช่วงระยะเวลา 18 เดือนตั้งแต่เริ่มโครงการ มีจำนวนวัสดุที่ขออนุมัติทั้งสิ้น 510 รายการ วัสดุงานวิศวกรรมโยธามีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติมากกว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรม โดยที่วัสดุงานดินเป็นวัสดุที่มีอัตราการอนุมัติสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 62.5 วัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติมากที่สุดได้แก่ วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก คิดเป็นร้อยละ 80.20 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ วัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสขออนุมัติแล้วอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากกว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธา โดยที่เงื่อนไขในการอนุมัติที่พบบ่อยที่สุดได้แก่ ขาดการนัดเยี่ยมชมโรงงานผลิตวัสดุ และวัสดุที่จะนำมาใช้งานต้องได้รับการทดสอบจากหน่วยงานหรือสถาบันที่เชื่อถือได้ วัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสขออนุมัติแล้วต้องส่งให้ตรวจสอบอีกครั้งมากกว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธา โดยที่สาเหตุหลักที่ทำให้ผู้รับเหมาต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งได้แก่ รายละเอียดของเอกสารที่นำส่งไม่ครบถ้วน วัสดุงานวิศวกรรมโยธาและวัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสที่จะขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธใกล้เคียงกัน สาเหตุที่ผู้รับเหมาขออนุมัติวัสดุแล้วโดนปฏิเสธมากที่สุดในงานวิศวกรรมโยธาและงานสถาปัตยกรรมได้แก่ ผลทดสอบของวัสดุที่ขออนุมัติไม่ได้ตามข้อกำหนด

คำสำคัญ: รถไฟฟ้า ก่อสร้าง โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีแดง การขออนุมัติวัสดุ การบริหารงานก่อสร้าง

ABSTRACT

The researchers did the study by analysis of data on approval of materials that were submitted by the contractor to the supervisor in the red line sky train construction project from May 2013 to December 2014. The red line sky train runs between Bangsue and Rangsit. The data related to civil engineering and that related to architectural works only was included in this analysis. During this 18 month period, 510 items were submitted for approval; 485 items (95.1%) were related to civil engineering work and 25 items (4.9%) were related to architectural work. The total percentage of approval of the materials related to civil engineering work (37.01%) was higher than that of the materials related to architectural work (8.0%). Earth had the highest percentage (62.5%) of approval. The number of materials that were submitted for approval was highest (80.2%) in the group of materials related to structural work and foundation. The total percentage of approval with conditions was higher in the group of materials related to architectural work than that related to civil engineering work. The most common notes that were made by the supervisors, as conditions for approval, were the requirement of visiting the manufacturer's factory and the certification of the materials by a reliable certifying organization. The percentage of approval pending on resubmission was also higher in the group of materials related to architectural work. The main reason for requiring resubmission was that the data or information in the submitted documents was incomplete or insufficient. The percentage of rejection of the materials related to civil engineering work and that of the materials related to architectural work were about the same. The main reason for rejection was that the materials submitted for approval did not pass the test of standard quality.

KEYWORD: red line sky train, construction, approval of materials, construction management

1. บทนำ

ในงานก่อสร้างสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่โดยทั่วไปแล้วจำเป็นจะต้องมีขั้นตอนของการขออนุมัติวัสดุและวิธีการที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง โดยที่ผู้ขออนุมัติได้แก่ตัวแทนของบริษัทผู้รับเหมา และผู้ที่อนุมัติได้แก่ตัวแทนของบริษัทที่ปรึกษา ชนิดของวัสดุและจำนวนรายการของวัสดุที่ต้องทำการขออนุมัติก่อนนำมาใช้ในโครงการก่อสร้างแต่ละโครงการอาจมีลักษณะที่แตกต่างกัน ผลการอนุมัติวัสดุและวิธีการที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างแต่ละโครงการก็อาจมีลักษณะที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ ซึ่งผลของการอนุมัตินั้นอาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการก่อสร้าง คุณภาพในการก่อสร้าง และกระบวนการบริหารการก่อสร้างของผู้บริหารโครงการได้ จากการศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับรถไฟฟ้าของประเทศไทย (สฤษฎ์รัชต์ วงษ์วิจิตร, 2553; วรวรรณ รุจิเวชนันท์, 2554; พนดร์ สุขสิงห์ และวันชัย ทรัพย์สิงห์, 2554; สุมิตรา เบี้ยพัด, 2551; สุริโย นุมี และวรรณวิทย์ เต็มทอง, 2557) ผู้วิจัยพบว่ายังไม่มีการศึกษาถึงการขออนุมัติวัสดุในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าถ้าหากสามารถนำเอาข้อมูลส่วนนี้ ซึ่งเป็นข้อมูลประเภทความรู้ซ่อนเร้นหรือความรู้ที่ฝังอยู่ในคน (Tacit knowledge) มาเรียบเรียงเพื่อจัดทำเป็นข้อมูลทั่วไปหรือความรู้ที่ชัดแจ้ง

(Explicit knowledge) น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการก่อสร้างของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายอื่นๆ โดยประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้คือจะทำให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าโครงการอื่นสามารถคาดการณ์หรือประมาณได้ว่าในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าจะต้องมีการขออนุมัติวัสดุอะไรบ้าง ปริมาณเท่าไร และปัญหาที่คาดว่าจะพบในกระบวนการขออนุมัติวัสดุคืออะไร เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลนี้ไปวางแผนการบริหารงานก่อสร้างให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 ศึกษาและวิเคราะห์โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีแดง ช่วงบางซื่อ-รังสิต
- 2.2 ศึกษาและวิเคราะห์ประเภท และปริมาณของวัสดุที่ต้องขออนุมัติเพื่อนำมาใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า
- 2.3 ศึกษาและวิเคราะห์ผลการขออนุมัติวัสดุในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า

3. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

นิยามของคำว่า การขนส่งมวลชน (Mass transportation) ได้แก่ การเคลื่อนย้าย ขนถ่ายบุคคล จากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง โดยใช้ยานพาหนะในการเคลื่อนย้ายหรือขนถ่าย (ประชิด ไกรเนตร, 2541) การขนส่งมวลชน สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ตามชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการขนส่ง ได้แก่ การขนส่งมวลชนทางบก การขนส่งมวลชนทางน้ำ และการขนส่งมวลชนทางอากาศ การขนส่งแต่ละระบบมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน โดยที่การขนส่งมวลชนทางบกเป็นรูปแบบของการขนส่งมวลชนที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในประเทศไทย การขนส่งมวลชนทางบก สามารถจำแนกย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การขนส่งมวลชนทางถนน และการขนส่งมวลชนทางราง การขนส่งทางรางอาจจะแยกประเภทย่อยออกได้อีกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ รถไฟ และรถไฟฟ้า (สถิตาพิทย์ ทิพย์ไกรสร, 2554) ระบบขนส่งมวลชนแบบรถไฟฟ้าเป็นหนึ่งในรูปแบบการขนส่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว เนื่องจากสามารถแก้ปัญหาการจราจรติดขัดในเมืองใหญ่ได้ ประหยัดค่าเชื้อเพลิง ใช้ระยะเวลาในการเดินทางที่รวดเร็ว

ประเภทของงานก่อสร้าง สามารถแบ่งออกตามลักษณะของงานได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่ งานก่อสร้างที่อยู่อาศัย (Residential construction) งานก่อสร้างเพื่อธุรกิจการค้า (Building construction for business) งานก่อสร้างด้านอุตสาหกรรม (Industrial construction) และงานก่อสร้างขนาดใหญ่ หรืองานสาธารณูปโภค (Heavy engineering or Infrastructure construction) (วิสูตร จิระคำกิจ, 2553) โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีแดงเป็นส่วนประกอบหนึ่งของโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ ที่ดำเนินการโดยการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย

การบริหารโครงการ (Project management) คือการจัดการดำเนินโครงการให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยการใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่อย่างเหมาะสม ให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด โดยที่ทรัพยากรที่ใช้ในการดำเนินงานบริหารโครงการ ได้แก่ บุคลากร เครื่องมือ งบประมาณ ฯลฯ ดังนั้นการดำเนินการบริหารโครงการ จำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติให้ชัดเจน เพื่อนำไปสู่แนวทางปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพ โดยปรกติแล้วเป้าหมายในการดำเนินโครงการสามารถแบ่งออกเป็น 3 องค์ประกอบหลักได้แก่ ต้นทุน เวลา และคุณภาพ การจะควบคุมบริหารโครงการให้เกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดนั้นผู้บริหารโครงการต้องเข้าใจถึงวงจรชีวิตโครงการ (Project life cycle)

ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ช่วง ได้แก่ ช่วงกำหนดโครงการ (Defining the project) ช่วงวางแผน (Planning) ช่วงปฏิบัติโครงการ (Project implementing) และช่วงปิดโครงการ (Project closing) (วิสูตร จิระคำเกิด, 2556)

โครงสร้างองค์กรในโครงการก่อสร้าง โดยทั่วไปในการดำเนินงานก่อสร้างจะมีกลุ่มบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการหลายฝ่าย โดยที่แต่ละฝ่ายมีลักษณะหน้าที่การปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย โครงการก่อสร้างแต่ละโครงการอาจมีผู้เกี่ยวข้องไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของโครงการ ขนาดของโครงการ ความยากง่ายของโครงการ งบประมาณของโครงการ ฯลฯ โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าเป็นงานก่อสร้างขนาดใหญ่ สามารถแบ่งองค์ประกอบขององค์กรออกเป็น 6 องค์ประกอบดังนี้ เจ้าของโครงการ (Owner) ผู้บริหารงานก่อสร้าง (Professional construction manager) ผู้ออกแบบ (Designer) ผู้ควบคุมงานก่อสร้าง (Construction supervision) ผู้รับจ้างหลัก (Contractor) และผู้รับจ้างช่วง (Subcontractor) โดยที่หน้าที่หลักของผู้ควบคุมงานก่อสร้างได้แก่ บริหารสัญญาจ้าง อำนวยการโครงการก่อสร้าง ควบคุมคุณภาพงานก่อสร้าง ควบคุมคุณภาพวัสดุ อุปกรณ์ กรรมวิธีก่อสร้าง ที่จะนำมาใช้ในโครงการ ตรวจสอบงานก่อสร้าง ฯลฯ (วิสูตร จิระคำเกิด, 2556)

การจัดการความรู้ (Knowledge management) คือ การรวบรวมองค์ความรู้ ที่กระจัดกระจายอยู่ในตัวบุคลากร องค์กร มาจัดเก็บให้อยู่ในรูปเอกสาร เพื่อให้ผู้สืบทอดความรู้หรือผู้ที่แสวงหาความรู้สามารถเข้าถึงความรู้เหล่านี้ได้ ความรู้นั้นๆ จะไม่สูญหายไปไปตามกาลเวลา ส่งผลให้องค์กรจะมีการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปเป้าหมายของการจัดการความรู้จะแบ่งออกได้เป็น 3 ประเด็น ได้แก่ พัฒนางาน พัฒนาคน และพัฒนาองค์กร

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการขออนุมัติวัสดุของโครงการรถไฟฟ้าสายสีแดงตั้งแต่ พฤษภาคม 2556 ถึง ธันวาคม 2557 รวมทั้งสิ้นเป็นเวลา 18 เดือน แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) โดยที่ขอบเขตของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาการขออนุมัติเฉพาะวัสดุงานวิศวกรรมโยธา และวัสดุงานสถาปัตยกรรมเท่านั้น

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นโครงการ

โครงการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าสายสีแดง ช่วงบางซื่อ-รังสิต เป็นหนึ่งในโครงการสำคัญเร่งด่วนในแผนแม่บทระบบขนส่งมวลชนทางรางในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล (M-MAP) โครงการนี้ได้รับอนุมัติโครงการจากคณะรัฐมนตรีตั้งแต่วันที่ 22 พฤษภาคม 2550 โครงการระบบรถไฟฟ้าสายสีแดงเป็นหนึ่งในโครงการที่ดำเนินการโดยการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (รฟท.) ด้วยเงินกู้จากองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศของญี่ปุ่น (JICA) โดยการก่อสร้างนี้เริ่มดำเนินการก่อสร้างตั้งแต่วันที่ 4 มีนาคม 2556 มีจุดเริ่มต้นโครงการจากบริเวณแยกประดิพัทธ์ ขึ้นไปทางทิศเหนือจนถึงบริเวณรังสิต มีสถานีปลายทางจำนวนทั้งสิ้น 10 สถานี ได้แก่ สถานีกลางบางซื่อ สถานีจตุจักร สถานีวัดเสมียนนารี สถานีบางเขน สถานีทุ่งสองห้อง สถานีหลักสี่ สถานีการ

เกาะ สถานีคอนกรีต สถานีหลักหก และสถานีรังสิต มีระยะทางในการก่อสร้างรวมทั้งสิ้นประมาณ 26.3 กิโลเมตร

5.2 โครงสร้างองค์การบริหาร

รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างองค์การบริหารงานบริการที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้าง โครงการระบบขนส่งมวลชนทางรางในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (สายสีแดง) ช่วงบางซื่อ – รังสิต โครงสร้างองค์การบริหาร ประกอบด้วย กลุ่มงานหลัก 6 กลุ่ม ดังนี้

(1) กลุ่มงานบริหารจัดการโครงการ ทำหน้าที่บริหารจัดการงานควบคุมงานก่อสร้างและงานด้านเทคนิคของโครงการภายใต้การให้ความช่วยเหลือและข้อคิดเห็นจาก 4 รองผู้จัดการโครงการ กลุ่มงานบริหารจะประสานและทำงานร่วมกับการรถไฟฟ้า/ที่ปรึกษาบริหารโครงการ ตลอดจนหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

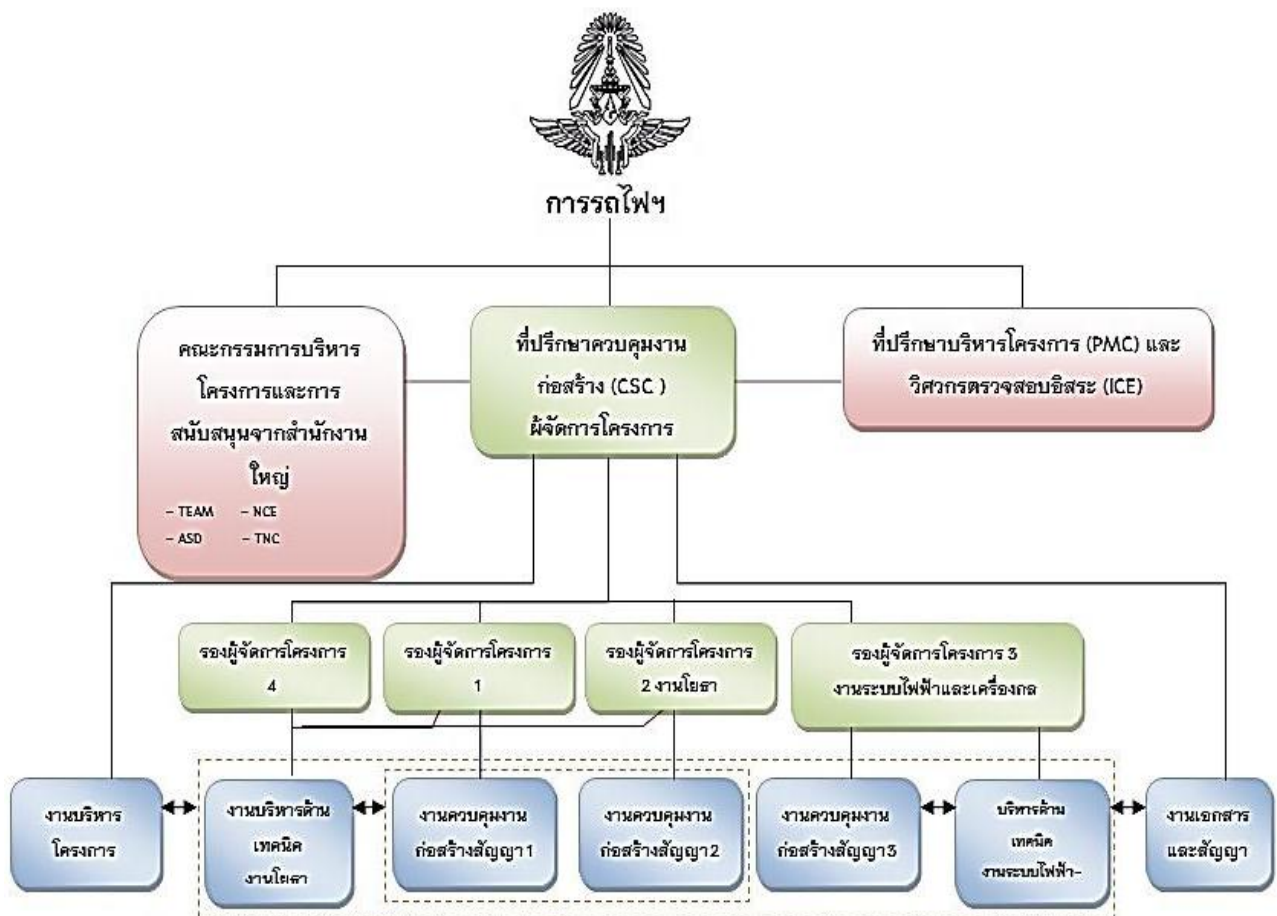
(2) กลุ่มงานบริหารอำนวยการโครงการ ทำหน้าที่ติดต่อประสานงาน ควบคุมแผนงาน งานความปลอดภัย งานประกันคุณภาพ งานบริหารโครงการ งานด้านกฎหมาย งานประชาสัมพันธ์ งานพัฒนาสังคม และงานป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

(3) กลุ่มงานเอกสารและสัญญา ทำหน้าที่ควบคุมเอกสาร บริหารสัญญาและการเรียกร้องของผู้รับจ้างก่อสร้าง

(4) กลุ่มงานบริหารด้านเทคนิค (งานโยธา) ทำหน้าที่บริหารงานด้านเทคนิค ประกอบด้วย ทบทวนการออกแบบ, ตรวจสอบและให้ความเห็นชอบแบบสำหรับใช้ก่อสร้าง และแบบก่อสร้างแล้วเสร็จ, ควบคุมการแก้ไขปัญหา งานก่อสร้างของงานโยธา, งานโครงสร้าง, งานสถาปัตยกรรม และงานสาธารณูปโภค สำหรับงานอาคาร

(5) กลุ่มงานบริหารด้านเทคนิค (งานระบบไฟฟ้าและเครื่องกล) ทำหน้าที่บริหารงานด้านเทคนิค (งานระบบไฟฟ้าและเครื่องกล) ประกอบด้วย การทบทวนการออกแบบ, ตรวจสอบและให้ความเห็นชอบแบบสำหรับใช้ก่อสร้าง และแบบก่อสร้างแล้วเสร็จ, ควบคุมการแก้ไขปัญหา งานก่อสร้างของงานระบบรางรถไฟฟ้า, ระบบอาณัติสัญญาณและควบคุมการเดินรถ, ระบบสื่อสารและโทรคมนาคม, ระบบเก็บค่าโดยสารอัตโนมัติ, ระบบตู้รถไฟฟ้า, อุปกรณ์ศูนย์ซ่อมบำรุงและโรงซ่อม และการรวมเชื่อมต่อบริเวณ รวมถึงการควบคุมตรวจสอบ และทดสอบการทำงานของระบบ, ระบบความปลอดภัยและระบบฉุกเฉิน, การบริหารความเสี่ยง, ระบบรักษาความปลอดภัย, การปฏิบัติงานและบำรุงรักษา และการทดสอบส่งมอบระบบ

(6) กลุ่มงานควบคุมงานก่อสร้าง ทำหน้าที่ควบคุมงานก่อสร้าง ประกอบด้วย ควบคุมงานก่อสร้างประจำวัน ตรวจสอบการทดสอบวัสดุก่อสร้างและชิ้นส่วนโครงสร้างหล่อสำเร็จ ควบคุมกิจกรรมการก่อสร้างให้เป็นไปตามเอกสารสัญญา, แบบที่ใช้ก่อสร้างที่ได้รับการอนุมัติแล้ว และคำสั่งด้านเทคนิคเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพสูง จัดหาและสนับสนุนข้อมูลต่างๆ ในการจัดการซื้อเรียกร้อง, ความคลาดเคลื่อน และการเปลี่ยนแปลง ตรวจสอบปริมาณงาน สำหรับการอนุมัติการจ่ายเงิน จัดหาข้อมูลสำหรับการอนุมัติขั้นตอนการทำงานและทางเทคนิคที่ผู้รับจ้างก่อสร้างเสนอ ตรวจสอบและรายงานการทดสอบและส่งมอบงานโยธาและงานระบบไฟฟ้าและเครื่องกลในสัญญาต่างๆ ประเมินเอกสารรับรองความครบถ้วนสมบูรณ์ของงานของผู้รับจ้างก่อสร้าง ตรวจสอบและรายงานการทำงานในขั้นตอนประกันความชำรุดบกพร่อง จัดประชุมติดตามงานก่อสร้างประจำสัปดาห์ จัดทำความก้าวหน้างานก่อสร้าง/ รายงานประจำเดือน และอื่นๆ



รูปที่ 1 โครงสร้างองค์กรบริหารงาน

5.3 รายการวัสดุที่ขออนุมัติ

ผลการวิจัยพบว่าในงานก่อสร้างรถไฟฟ้าสามารถแบ่งประเภทของวัสดุที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา วัสดุงานสถาปัตยกรรม วัสดุงานระบบไฟฟ้า วัสดุงานระบบประปาและสุขาภิบาล และวัสดุงานระบบวิศวกรรมเครื่องกล โดยที่ในการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะการขออนุมัติ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา และวัสดุงานสถาปัตยกรรมเท่านั้น จากการวิเคราะห์ข้อมูลการขออนุมัติในส่วนของการงาน วัสดุวิศวกรรมโยธาผู้วิจัยพบว่า สามารถแบ่งประเภทของวัสดุที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ งานดิน งานถนนและงานปูทางเท้า งานโครงสร้างและงานฐานราก งานระบบระบายน้ำและระบบสาธารณูปโภค และงานระบบ Earthing and bonding จากการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการงานวัสดุสถาปัตยกรรมผู้วิจัยพบว่า สามารถแบ่งประเภทของวัสดุที่ต้องขออนุมัติออกเป็น 10 ประเภท ได้แก่ งานพื้น งานผนัง งานตกแต่งผนัง งานฝ้าเพดาน งานหลังคา งานสุขภัณฑ์ งานบันไดและราวบันได งานลิฟต์บันไดเลื่อน งานประตูหน้าต่าง และงานเบ็ดเตล็ด ตารางที่ 1 แสดงถึงจำนวนรายการที่ขออนุมัติวัสดุในงานวิศวกรรมโยธาและในงานสถาปัตยกรรมตามลำดับ

ตารางที่ 1 รายการและผลการอนุมัติวัสดุที่นำมาใช้ในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีแดง

ประเภทของวัสดุ		รายการ ทั้งหมด	CODE 1	CODE 2	CODE 3	CODE 4
วิศวกรรมโยธา	งานดิน	24	15	6	0	3
	งานถนนและงานปูทางเท้า	11	4	7	0	0
	งานโครงสร้างและงานฐานราก	409	163	209	18	19
	งานระบบระบายน้ำเสียและระบบสาธารณูปโภค	39	5	29	2	3
	งานระบบ Earthing and bonding	2	0	2	0	0
สถาปัตยกรรม	งานพื้น	4	1	2	1	0
	งานผนัง	8	1	5	2	0
	งานตกแต่งผนัง	3	0	2	0	1
	งานฝ้าเพดาน	0	0	0	0	0
	งานหลังคา	8	0	4	4	0
	งานสุขภัณฑ์	0	0	0	0	0
	งานบันไดและราวบันได	1	0	1	0	0
	งานลิฟท์บันไดเลื่อน	0	0	0	0	0
	งานประตูหน้าต่าง	1	0	1	0	0
	งานเบ็ดเตล็ด	0	0	0	7	1

ผลการวิจัยระบุว่าในช่วงระยะเวลา 18 เดือนแรกนับจากเริ่มโครงการ มีรายการวัสดุที่ขออนุมัติเพื่อนำไปใช้ในงานก่อสร้างรถไฟฟ้าจำนวน 510 รายการ เป็นรายการวัสดุงานวิศวกรรมโยธา 485 รายการ คิดเป็นร้อยละ 95.10 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ เป็นรายการวัสดุงานสถาปัตยกรรม 25 รายการ คิดเป็นร้อยละ 4.90 ของวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ จากตารางที่ 1 พบว่า วัสดุประเภท งานโครงสร้างและงานฐานราก เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติมากที่สุด มีการขออนุมัติ 409 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 84.33 ของจำนวนวัสดุโยธาทั้งหมดที่ขออนุมัติ หรือคิดเป็นร้อยละ 80.20 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ วัสดุประเภท งาน Earthing and Bonding เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมิติน้อยที่สุด มีการขออนุมัติ 2 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 0.39 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ สาเหตุที่วัสดุงานโยธาขออนุมัติมากกว่าวัสดุงานสถาปัตย์ผู้วิจัยคาดว่าเป็นเพราะระยะเวลาที่ทำการวิจัยเป็นช่วงแรกของโครงการก่อสร้าง ซึ่งงานส่วนใหญ่ได้แก่ งานโครงสร้างหลักของสิ่งก่อสร้าง จึงทำให้วัสดุงานวิศวกรรมโยธาถูกนำมาขออนุมัติมากกว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรม เมื่อพิจารณาวัสดุงานสถาปัตยกรรมที่ถูกนำมาขออนุมัติ พบว่า วัสดุงานผนัง และวัสดุงานหลังคาเป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติใช้มากที่สุด โดยมีการขออนุมัติเท่ากันทั้ง 2 ประเภทเป็นจำนวน 8 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 32.00 ของจำนวนวัสดุสถาปัตยกรรมทั้งหมดที่ขออนุมัติ คิดเป็นร้อยละ 1.57 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติใช้ในโครงการ

5.4 ผลการขออนุมัติวัสดุ

ผู้วิจัยพบว่าในโครงการก่อสร้างนี้ผลของการขออนุมัติวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อนุมัติ (Approved: Code 1) อนุมัติโดยมีเงื่อนไข (Approved as notes: Code 2) ส่งให้ตรวจสอบอีกครั้ง (Resubmit: Code 3) และไม่อนุมัติ (Reject: Code 4) จากตารางที่ 1 พบว่า วัสดุงานโยธาได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 187 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 485 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 37.01 วัสดุงานสถาปัตยกรรมได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 2 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 8.00 ผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธามีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติมากกว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรม เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธา

พบว่า จาก 5 ประเภทของวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติ วัสดุงานดิน วัสดุงานถนนและงานปูทางเท้า วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก วัสดุงานระบบระบายน้ำเสียและระบบสาธารณูปโภค และวัสดุงานระบบ Earthing and bonding ได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 15, 4, 163, 5 และ 0 ครั้งตามลำดับ โดยที่วัสดุที่ได้รับการอนุมัติมากที่สุดได้แก่วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก และในการวิจัยนี้ผู้วิจัยยังพบว่า วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดในโครงการนี้ได้แก่ วัสดุประเภทงานดิน คิดเป็นร้อยละ 62.5 และวัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติต่ำที่สุดได้แก่ วัสดุงานระบบ Earthing and bonding เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมพบว่า จาก 10 ประเภทของวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติ วัสดุงานพื้น และวัสดุงานผนัง ได้รับการอนุมัติเป็นจำนวน 1 และ 8 รายการตามลำดับ ส่วนวัสดุงานตกแต่งผนัง วัสดุงานหลังคา วัสดุงานบันไดและราวบันได และวัสดุงานประตูหน้าต่างเป็นวัสดุประเภทที่ไม่ได้รับการอนุมัติเลย ผู้วิจัยยังพบว่าในโครงการก่อสร้างนี้ไม่ได้มีการขออนุมัติวัสดุงานฝ้าเพดาน วัสดุงานสุขภัณฑ์ วัสดุงานลิฟท์บันไดเลื่อน และวัสดุงานเบ็ดเตล็ด ผลการวิจัยระบุว่า วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดในหมวดงานสถาปัตยกรรมได้แก่ วัสดุงานพื้นคิดเป็นร้อยละ 25 วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านน้อยที่สุดได้แก่ วัสดุงานผนัง คิดเป็นร้อยละ 12.5

ผู้วิจัยพบว่าในโครงการก่อสร้างนี้ วัสดุงานวิศวกรรมโยชามีการขออนุมัติแล้วอนุมัติโดยมีเงื่อนไขเป็นจำนวน 253 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 485 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 52.16 ส่วนงานสถาปัตยกรรมมีการขออนุมัติแล้วอนุมัติแบบมีเงื่อนไขเป็นจำนวน 7 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 60.00 ผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสขออนุมัติแล้วอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากกว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธา เมื่อทำการพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาพบว่า จาก 5 ประเภทของวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติ วัสดุงานดิน วัสดุงานถนนและงานปูทางเท้า วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก วัสดุงานระบบระบายน้ำเสียและระบบสาธารณูปโภค และวัสดุงานระบบ Earthing and bonding ได้รับการอนุมัติแบบมีเงื่อนไขเป็นจำนวน 6, 7, 209, 29 และ 2 ครั้งตามลำดับ โดยที่วัสดุที่ได้รับการอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุประเภทงาน Earthing and bonding คิดเป็นร้อยละ 100 ผลวิเคราะห์เงื่อนไขทั้งหมดที่ผู้รับเหมาต้องปฏิบัติ ผู้วิจัยพบว่าสามารถแบ่งประเภทของเงื่อนไขในโครงการนี้ออกได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 ขาดการนัดเยี่ยมชมโรงงานผลิตวัสดุ ประเภทที่ 2 วัสดุที่จะนำมาใช้งานต้องได้รับการทดสอบจากหน่วยงานหรือสถาบันที่เชื่อถือได้ซึ่งจะต้องเป็นผลการทดสอบครั้งล่าสุด และประเภทที่ 3 รายละเอียดของเอกสารที่นำเสนอไม่ครบถ้วน ผลการวิจัยระบุว่า เงื่อนไขที่พบบ่อยที่สุดในการขออนุมัติวัสดุงานโยธาได้แก่ เงื่อนไขประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมพบว่า วัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติแล้วมีโอกาสอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุงานบันไดและราวบันได และวัสดุงานประตูหน้าต่าง คิดเป็นร้อยละ 100 เท่ากันทั้ง 2 ประเภท ผลการวิเคราะห์เงื่อนไขทั้งหมดที่ผู้รับเหมาต้องปฏิบัติ ผู้วิจัยพบว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรมสามารถแบ่งประเภทของเงื่อนไขออกได้เป็น 3 ประเภท โดยที่ทั้ง 3 เงื่อนไขมีลักษณะตรงกันกับเงื่อนไขของงานวิศวกรรมโยธา

ผลการวิจัยพบว่า วัสดุงานวิศวกรรมโยชามีการขออนุมัติแล้วต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งเป็นจำนวน 20 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 485 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 4.12 ส่วนงานสถาปัตยกรรมมีการขออนุมัติแล้วต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งเป็นจำนวน 7 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 28.00 ผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสขออนุมัติแล้วต้องส่งให้ตรวจสอบอีกครั้งมากกว่าวัสดุงาน

วิศวกรรมโยธา เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาพบว่า วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วมีโอกาสต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งมากที่สุดได้แก่ วัสดุงานระบบระบายน้ำเสียและระบบสาธารณูปโภค คิดเป็นร้อยละ 5.13 เมื่อพิจารณาการอนุมัติวัสดุงานสถาปัตยกรรมพบว่า ประเภทของวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติแล้วมีโอกาสผ่านแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุประเภทงานหลังคา คิดเป็นร้อยละ 50.00 ผู้วิจัยพบว่าในการขออนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาและงานสถาปัตยกรรม สาเหตุหลักที่ผู้รับเหมาต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งได้แก่ รายละเอียดของเอกสารที่นำเสนอไม่ครบถ้วน

ผลการวิเคราะห์การอนุมัติวัสดุพบว่า วัสดุงานวิศวกรรมโยธามีการขออนุมัติแล้วไม่อนุมัติเป็นจำนวน 25 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 485 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 5.15 วัสดุงานสถาปัตยกรรมมีการขออนุมัติไม่อนุมัติเป็นจำนวน 1 ครั้ง จากจำนวนการขออนุมัติ 25 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 4 ผลการวิเคราะห์ระบุว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธาและวัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสที่จะขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธใกล้เคียงกัน เมื่อทำการพิจารณาประเภทของวัสดุที่ขออนุมัติ ผู้วิจัยพบว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธาที่ขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธมากที่สุดได้แก่วัสดุงานดิน วัสดุงานวิศวกรรมโยธาที่ขออนุมัติแล้วไม่โดนปฏิเสธเลยได้แก่วัสดุงานถนนและงานปูทางเท้า และวัสดุงาน Earthing and bonding วัสดุงานสถาปัตยกรรมที่ขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธมากที่สุดได้แก่วัสดุงานตกแต่งผนัง ผู้วิจัยพบว่าในการขออนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาและงานสถาปัตยกรรม สาเหตุที่ผู้รับเหมาขออนุมัติวัสดุแล้วโดนปฏิเสธสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 สาเหตุได้แก่ รายการวัสดุที่ขออนุมัติไม่ได้ระบุในแบบก่อสร้าง รายการวัสดุที่ขออนุมัติไม่ตรงตามข้อกำหนดโครงการ ผลทดสอบของวัสดุที่ขออนุมัติไม่ได้ตามข้อกำหนด และรายละเอียดของเอกสารที่นำเสนอไม่ครบถ้วนถูกต้อง ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ทำให้การขออนุมัติโดนปฏิเสธมากที่สุดในงานวิศวกรรมโยธาและงานสถาปัตยกรรมเป็นสาเหตุเดียวกันได้แก่ ผลทดสอบของวัสดุที่ขออนุมัติไม่ได้ตามข้อกำหนด

6. สรุปผลการวิจัย

โครงการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (สายสีแดง) ช่วงบางซื่อ-รังสิต เป็นหนึ่งในโครงการที่ดำเนินการโดยการรถไฟฟ้าแห่งประเทศไทย โครงสร้างองค์กรการบริหาร ประกอบด้วย กลุ่มงานหลัก 6 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มงานบริหารจัดการโครงการ กลุ่มงานบริหารอำนวยการโครงการ กลุ่มงานเอกสารและสัญญา กลุ่มงานบริหารด้านเทคนิค (งานโยธา) กลุ่มงานบริหารด้านเทคนิค (งานระบบไฟฟ้าและเครื่องกล) และกลุ่มงานควบคุมงานก่อสร้าง ประเภทของวัสดุที่ต้องทำการขออนุมัติก่อนนำมาใช้ในโครงการแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ วัสดุงานวิศวกรรมโยธา วัสดุงานสถาปัตยกรรม วัสดุงานระบบไฟฟ้า วัสดุงานระบบประปาและสุขาภิบาล และวัสดุงานระบบวิศวกรรมเครื่องกล ในช่วงระยะเวลา 18 เดือนแรกนับจากเริ่มโครงการ มีรายการวัสดุที่ขออนุมัติจำนวน 510 รายการ เป็นรายการวัสดุงานวิศวกรรมโยธา 485 รายการ คิดเป็นร้อยละ 95.10 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ เป็นรายการวัสดุงานสถาปัตยกรรม 25 รายการ คิดเป็นร้อยละ 4.90 ของวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ วัสดุประเภท งานโครงสร้างและงานฐานราก เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 80.20 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ และวัสดุประเภท งาน Earthing and Bonding เป็นวัสดุที่ถูกนำมาขออนุมัติน้อยที่สุด มีการขออนุมัติ 2 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 0.39 ของจำนวนวัสดุทั้งหมดที่ขออนุมัติ ผลของการขออนุมัติสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ อนุมัติ อนุมัติโดยมีเงื่อนไข ส่งให้ตรวจสอบอีกครั้ง และไม่อนุมัติ ผลการวิจัยพบว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธามีโอกาสที่จะได้รับการอนุมัติมากกว่าวัสดุงานสถาปัตยกรรม วัสดุที่ได้รับการอนุมัติมาก

ที่สุดได้แก่วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วได้รับการอนุมัติสูงที่สุดได้แก่ วัสดุงานดิน คิดเป็นร้อยละ 62.5 วัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสขออนุมัติแล้วอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากกว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธา โดยที่วัสดุที่ได้รับการอนุมัติแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่วัสดุงานโครงสร้างและงานฐานราก วัสดุที่มีอัตราการขออนุมัติแล้วมีอัตราผ่านแบบมีเงื่อนไขมากที่สุดได้แก่ วัสดุประเภทงาน Earthing and bonding คิดเป็นร้อยละ 100 โดยที่เงื่อนไขในการอนุมัติสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ ประเภทที่ 1 ขาดการนัดเยี่ยมชมโรงงานผลิตวัสดุ ประเภทที่ 2 วัสดุที่จะนำมาใช้งานต้องได้รับการทดสอบจากหน่วยงานหรือสถาบันที่เชื่อถือได้ซึ่งจะต้องเป็นผลการทดสอบครั้งล่าสุด และประเภทที่ 3 รายละเอียดของเอกสารที่นำเสนอไม่ครบถ้วน ผลการวิจัยระบุว่า เงื่อนไขที่พบบ่อยที่สุดในการขออนุมัติวัสดุงานวิศวกรรมโยธาและงานสถาปัตยกรรมได้แก่เงื่อนไขประเภทที่ 1 และประเภทที่ 2 วัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสขออนุมัติแล้วต้องส่งให้ตรวจสอบอีกครั้งมากกว่าวัสดุงานวิศวกรรมโยธา และสาเหตุหลักที่ผู้รับเหมาต้องส่งเอกสารให้ตรวจสอบอีกครั้งได้แก่ รายละเอียดของเอกสารที่นำเสนอไม่ครบถ้วน วัสดุงานวิศวกรรมโยธาและวัสดุงานสถาปัตยกรรมมีโอกาสที่จะขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธใกล้เคียงกัน วัสดุงานโยธาที่ขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธมากที่สุดได้แก่วัสดุงานดิน วัสดุงานสถาปัตยกรรมที่ขออนุมัติแล้วโดนปฏิเสธมากที่สุดได้แก่วัสดุงานตกแต่งผนัง สาเหตุที่ผู้รับเหมาขออนุมัติวัสดุแล้วโดนปฏิเสธ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 สาเหตุได้แก่ สาเหตุที่ 1 รายการวัสดุที่ขออนุมัติไม่ได้ระบุในแบบก่อสร้าง สาเหตุที่ 2 รายการวัสดุที่ขออนุมัติไม่ตรงตามข้อกำหนดโครงการ สาเหตุที่ 3 ผลทดสอบของวัสดุที่ขออนุมัติไม่ได้ตามข้อกำหนด และสาเหตุที่ 4 รายละเอียดของเอกสารที่นำเสนอไม่ครบถ้วนถูกต้อง ผู้วิจัยพบว่าสาเหตุที่ทำให้การขออนุมัติโดนปฏิเสธมากที่สุดในงานวิศวกรรมโยธาและงานสถาปัตยกรรมเป็นสาเหตุเดียวกันได้แก่ สาเหตุที่ 3

7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำข้อมูลการวิจัยนี้ไปใช้คือ เจ้าของโครงการก่อสร้าง กลุ่มบริษัทที่ปรึกษาและกลุ่มผู้รับเหมาที่ทำงานและผู้ที่กำลังมีแผนจะทำงานด้านโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า มีข้อมูลประกอบการวางแผนและการตัดสินใจที่มากขึ้น เข้าใจโครงสร้างการบริหารการก่อสร้างระบบรถไฟฟ้าในส่วนของขออนุมัติวัสดุ เข้าใจถึงประเภท ปริมาณ และผลการขออนุมัติวัสดุที่ต้องขออนุมัติเพื่อนำมาใช้ในโครงการ ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการวางแผนการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าโครงการอื่น ทำให้โครงการก่อสร้างนั้นๆ เป็นการก่อสร้างที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งในองค์ประกอบด้านเวลา งบประมาณ ค่าใช้จ่าย และคุณภาพ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป ผู้วิจัยควรจะนำเอาข้อมูลด้านเวลาที่ใช้ในการขออนุมัติวัสดุแต่ละรายการ รวมถึงเวลาที่สูญเสียไปในการนำวัสดุมาขออนุมัติใหม่ มาบูรณาการเข้ากับข้อมูลจากงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อที่จะได้สร้างองค์ความรู้เชิงลึกด้านผลกระทบจากการขออนุมัติวัสดุ ซึ่งข้อมูลตรงส่วนนี้น่าจะทำให้ผู้ที่ทำงานเกี่ยวกับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสามารถวางแผนป้องกัน และปรับปรุงคุณภาพในการก่อสร้าง ไม่ให้เกิดปัญหาความล่าช้า และปัญหาอื่นๆ ที่เกิดจากขั้นตอนการขออนุมัติวัสดุได้

8. รายการอ้างอิง

- สฤษฎ์รัชต์ วงษ์วิจิตร. 2553. “โครงการศึกษาออกแบบเพื่อปรับปรุงอุทยานการค้าสัตว์น้ำไฟฟ้าใต้ดินสวนจตุจักร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาสถาปัตยกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถาปัตยกรรมภายใน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- วรวรรณ รุจิเวชนันท์. 2554. “ทัศนคติและแนวโน้มพฤติกรรมในการซื้อสิ่งของสำหรับวัยผู้ใหญ่ โครงการรถไฟฟ้าส่วนต่อขยายสะพานตากสิน.” สารนิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- พนตรัฐ สุขสิงห์และวันชัย ทรัพย์สิงห์. 2554. “การออกแบบและสร้างระบบควบคุมรถไฟฟ้าแบบไร้คนขับขนาดเล็ก.” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 วันที่ 3-5 พฤษภาคม 2554 จ.ภูเก็ต
- สุมิตรา เบี้ยพัด. 2551. “การศึกษาเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของบริษัทรถไฟฟ้ากรุงเทพจำกัด (มหาชน) กับบริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ (มหาชน) โดยใช้การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน.” การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาการเงิน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
- สุริโย บุญมีและวรรณวิทย์ แด้มทอง. 2557. “ผลกระทบของอุปสรรคในงานก่อสร้างบ่อพักและท่อร้อยสายไฟฟ้าใต้ดิน: กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง.” วารสารวิชาการพระจอมเจ้าพระนครเหนือ. ปีที่ 24 (3) 156-466
- ประชด ไกรเนตร. 2541 การขนส่งผู้โดยสาร (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- สลิลาทิพย์ ทิพย์ไกรสร. 2554. “ประเทศไทย...เริ่มต้น พัฒนาระบบขนส่งมวลชนอย่างไร” วารสารนักบริหาร. ปีที่ 31 (4) 55-58
- วิสูตร จิระคำแข็ง. 2553. การบริหารงานวิศวกรรมโยธา (พิมพ์ครั้งที่ 1). ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ วรณกวี.
- วิสูตร จิระคำแข็ง. 2556. การบริหารงานก่อสร้าง (ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 2). ปทุมธานี: สำนักพิมพ์ วรณกวี.

REINFORCED CONCRETE BUILDINGS STRENGTH REDUCTION FACTORS FOR VARIOUS TYPES OF LOAD FACTORS BASED ON THAILAND STATISTICAL DATA

Chatr Suchinda

Faculty of Civil Engineering, Sripatum University

ABSTRACT

In Thailand, the load factors recommended by The Ministry of the Interior of Thailand are 1.7 for dead load and 2.0 live load to use with strength design method. This is because they feel that the construction quality in Thailand are not as reliable as the country where the original codes were issued. However, Engineering Institute of Thailand recommended the load factors shall be 1.4 for dead load and 1.7 for live load as per the ACI318-89. But, the recent ACI318-02 and later recommended the load factor 1.2 for dead load and 1.6 for live load which strength reduction factors followed the ASCE7 code. This paper presents the recommendation for concrete design strength reduction factors so called phi factors for the above load factor combinations, in order to keep the reliability of the designed structures nearly the same level as the original codes. The factors are adjusted based on the construction statistical data collected in Thailand. The data were collected separately in two cases namely large construction sites which have quality control processes and small construction sites which have no quality control processes. From the Monte Carlo simulations and reliability analyses presented in this paper, the recommend strength reduction factors for large construction sites are 0.86, 0.90, 0.95 (beam bending), 0.92, 0.97, 1.07 (beam shear) and 0.81, 0.86, 0.92 (tied column) for the load factors: 1.2D+1.6L, 1.4D+1.7L, 1.7D+2.0L respectively. The recommend strength factor for small construction sites are 0.79 0.80 0.86 (bending in beams), 0.82, 0.87 0.93 (shear in beams) and 0.60 0.62 0.66 (tied column) for the load factors: 1.2D+1.6L, 1.4D+1.7L, 1.7D+2.0L respectively.

KEYWORDS: Strength reduction factors, Reinforced concrete design standard, Mote Carlo simulation

บทคัดย่อ

สำหรับประเทศไทย กระทรวงมหาดไทยได้แนะนำ ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตายตัวไว้เท่ากับ 1.7 และ น้ำหนักบรรทุกจรไว้ 2.0 เนื่องจากผู้กำหนดรู้สึกว่าคุณภาพของการก่อสร้างในประเทศไทยไม่น่าเชื่อมั่นเท่ากับในประเทศผู้ออกมาตรฐาน อย่างไรก็ตามวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยได้แนะนำตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตายตัวไว้เท่ากับ 1.4 และน้ำหนักบรรทุกจรไว้เท่ากับ 1.7 ตาม ACI318-89 แต่มาตรฐาน ACI318-02 หรือใหม่กว่านั้น แนะนำตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตายตัวไว้เท่ากับ 1.2 และน้ำหนักบรรทุกจรไว้เท่ากับ 1.6 เนื่องจากได้อนุมัติตามมาตรฐาน ASCE7 บทความนี้ได้เสนอค่าของตัวคูณลดกำลังสำหรับที่ใช้ในการรวมน้ำหนักบรรทุกก่อดำมาข้างต้น เพื่อรักษาความเชื่อมั่นของโครงสร้างที่ออกแบบให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับที่มาตรฐานดั้งเดิม โดยได้ปรับแก้ไขเข้ากับสถิติของการก่อสร้างในประเทศไทย ซึ่งสถิตินี้ได้ถูกเก็บแยกไว้เป็นสองกรณีคือ โครงการขนาดใหญ่ที่มีกระบวนการควบคุมคุณภาพและ โครงการขนาดเล็กที่ไม่มีกระบวนการควบคุมคุณภาพ จากการจำลองแบบมอนติคาร์โลและการ วิเคราะห์ความเชื่อมั่นที่ได้นำเสนอในบทความนี้ ค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับ โครงการขนาดใหญ่คือ 0.86 0.90 0.95 สำหรับการค้ำในคาน 0.92 0.97 1.07 สำหรับแรงเฉือนในคาน และ 0.81 0.86 0.92 สำหรับเสาปอดเดี่ยว สำหรับตัวคูณน้ำหนักบรรทุก 1.2D+1.6L 1.4D+1.7L 1.7D+2.0L ตามลำดับ ส่วนค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับโครงการขนาดเล็กคือ 0.79 0.80 0.86 สำหรับการค้ำในคาน 0.82 0.87 0.93 สำหรับแรงเฉือนในคาน และ 0.60 0.62 0.66 สำหรับเสาปอดเดี่ยว สำหรับตัวคูณน้ำหนักบรรทุก 1.2D+1.6L 1.4D+1.7L 1.7D+2.0L ตามลำดับ

คำสำคัญ: ตัวคูณลดกำลัง มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก การจำลองแบบมอนติคาร์โล

1. INTRODUCTION

Thai reinforced concrete standard (Engineering Institute of Thailand, 1995) was translated from the American ACI318-89 standard (American Concrete Institute, 1989). However, due to the different regulations and the methods of construction, the statistical characteristics of material and fabrication may or may not similar.

This paper presents the determination of strength reduction factors for beams resisting bending, beams resisting shear and tied column resisting axial load for three different load factor combinations: 1.2D+1.6L (ACI318-02 and newer, ASCE7), 1.4D+1.7L (EIT1008-38, ACI318-99 and older) and 1.7D+2.0L (Ministry of the Interior of Thailand, 1984). The strength characteristics (shapes and parameters of statistical distributions) of concrete compressive strengths, rebar yield strengths, rebar diameter affecting the cross sectional areas representing the material quality while the member sizes and rebar locations representing the quality of construction, workmanship and the way of practice. The data were collected separately for two cases. Case 1 data were collected from mid-rise to high-rise condominiums in Bangkok area where the quality control was inspected by the third-party consulting agents. And, case 2 data were collected from detached and town houses in subdivisions where the quality control is not inspected by any third-party agent. This separation was due to the fact that Thailand future building code (Thai structural and soil building codes committee, 2005) will recommend two sets of strength reduction separately. The explanation of reliability analysis can be found in text book (Nowak and Collins., 2013) and is not included in the paper due to the limitation of the page number of the proceeding.

2. CHARACTERISTICS OF MATERIALS AND QUALITY OF CONSTRUCTION

The characteristics of materials and quality of construction are shown in Tables 1 to 4.

Table 1. Statistical parameters for compressive strength in Thailand

Case	Concrete Class (ksc)	Number of specimen	Mean (ksc)	Coefficient of Variation	Measured /specified ratio
1	210	127	289	0.290	1.376
	240	648	299	0.230	1.246
	250	60	357	0.126	1.429
	280	577	343	0.182	1.225
	300	51	371	0.123	1.237
	325	245	412	0.146	1.267
	350	127	442	0.110	1.262
	360	20	432	0.108	1.201
	380	52	478	0.137	1.257
	400	42	484	0.103	1.209
	600	25	569	0.207	0.949
2	150	820	167	0.330	1.113

Table 2. Statistical parameters of rebar diameter

Case	Size*	Number of specimen	Mean (mm)	Coefficient of Variation	Measured /specified ratio
1	RB6	97	5.930	0.010	0.988
	RB9	93	8.963	0.005	0.996
	DB12	118	11.882	0.010	0.990
	DB16	131	15.816	0.007	0.988
2	RB6	243	5.694	0.051	0.949
	RB9	244	8.364	0.080	0.929
	DB12	271	11.364	0.063	0.947
	DB16	259	15.277	0.059	0.955

* RB=Rounded Bars, DB=Deformed Bars

Table 3. Statistical parameters of rebar yield strength

Case	Size*	Number of specimen	Mean (ksc)	Coefficient of Variation	Measured /specified ratio
1	RB6	56	4015	0.174	1.673
	RB9	63	3443	0.171	1.434
	DB12	8	4041	0.287	1.347
	DB16	12	4765	0.250	1.588
2	RB6	127	4195	0.186	1.748
	RB9	108	3697	0.237	1.541
	DB12	84	4541	0.225	1.514
	DB16	79	5051	0.253	1.684

* RB=Rounded Bars, DB=Deformed Bars

Table 4. Statistical parameters of member fabrication

Case	Item	Number of specimen	Coefficient of Variation	Measured/spe cified ratio
1	Slab effective depth	45	0.016	0.991
	Slab rebar spacing	45	0.020	1.000
	Beam width	124	0.029	0.991
	Beam effective depth	124	0.021	0.999
	Beam stirrup spacing	124	0.066	1.022
	Column size	201	0.179	1.148
	Footing size	57	0.002	1.002
	Footing effective depth	57	0.007	0.994
	Footing rebar spacing	57	0.120	1.072
2	Slab effective depth	527	0.072	1.022
	Slab rebar spacing	527	0.076	1.051
	Beam width	1383	0.089	1.035
	Beam effective depth	1383	0.125	1.002
	Beam stirrup spacing	1383	0.061	1.016
	Column size	789	0.029	1.011
	Footing size	1434	0.028	1.018
	Footing effective depth	717	0.061	1.013
	Footing rebar spacing	717	0.096	0.999

3. THE STRENGTH MODELS AND MONTE CARLO SIMULATIONS

From the characteristics of materials and construction quality from Nowak and Szerszen (2003) along with those of loads from Szerszen and Nowak (2003) the Monte Carlo simulations were performed yielding the characteristics of the member resistances for beams resisting bending, beams resisting shear and tied columns resisting axial load and the load effects. Then, the means and standard deviations from these characteristics were adjusted using equations (1) to (3) due to the error of the design formula (so called professional factors). Lastly, the reliability indices were determined based on the first-order second-moment method (Equation 4).

$$\mu_R^* = \lambda_p \times \mu_R \quad (1)$$

$$\sigma_p = \lambda_p \times V_p \quad (2)$$

$$\sigma_R^* = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_p^2} \quad (3)$$

Where μ_R^* is adjusted mean of the resistance, σ_R^* is adjusted standard deviation of the resistance, λ_p is bias factor for professional factor and V_p is coefficient of variation of the professional factor.

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q^*}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^{*2}}} \quad (4)$$

Because strength design code uses separate load factors in the design process, the simulation must consider all dead and live load mixtures in the practical range. The means and standard deviations for the load effects were simulated from the data (maximum 50-year) from Szerszen, and Nowak (2003) based on 1.2D+1.6L, 1.4D+1.7L and 1.7D+2.0L load combinations. For beam flexure, the simulated resistance were calculated by equations (2) and (3) according to ACI318 code.

$$M = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (5)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} \quad (6)$$

Where M is the bending resistance, $A_s f_y$ is the product of rebar cross sectional area and yield strength of longitudinal rebars. (The distribution of DB12 and DB16 bars together was used). d is the beam effective depth and b is the beam width. Using Monte Carlo simulation, means and standard deviations for simulated beam bending resistance were created. Four different reinforcing

ratios: $\rho_{\min}$, $0.25\rho_b$, $0.50\rho_b$, $0.75\rho_b$ were studied to represent the practical range of the flexural design.

The reliability indices were calculated using equations (1) to (4). The statistical parameters of the member resistances have to be adjusted by the trial strength reduction factors. With the given target reliability= $\beta_T = 3.54$ (for beam flexure) from references (Nowak and Szerszen, 2003), (Szerszen, and Nowak, 2003) and the mid-range $D/(D+L)=0.5$, the appropriate strength reduction factors can be selected as shown in Table 5.

Table 5. Selected strength reduction factors ϕ for beam bending resistance

Reinf. ratio ρ	ϕ at $\beta_T = 3.54$					
	1.2D+1.6L		1.4D+1.7L		1.7D+2.0L	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
$\rho_{\min}$	0.825	0.800	0.875	0.825	0.925	0.900
$0.25\rho_b$	0.850	0.800	0.875	0.825	0.913	0.900
$0.50\rho_b$	0.875	0.775	0.913	0.813	0.975	0.875
$0.75\rho_b$	0.875	0.775	0.925	0.725	1.000	0.775
Average	0.856	0.788	0.897	0.797	0.953	0.863

For beam shear resistances can be predicted using equations (7) to (9) according to ACI318.

$$V_n = V_c + V_s \quad (7)$$

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}b_wd \quad (8)$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (9)$$

Where V_n is total nominal shear resistance, V_c is concrete shear resistance, V_s is stirrup shear resistance, f'_c is beam concrete strength, b_w is beam web width, s is stirrup spacing and

$A_v f_{yt}$ is the product of rebar cross sectional area and yield strength of stirrup reinforcing.

It was found that among all of the simulated beam sizes, the distributions of shear resistance fell into six different scenarios depending on their sizes and stirrup shear resistance over concrete shear resistance ratios: $V_s/V_c = 0.25, 0.50, 0.75$.

With the given target reliability $\beta_T = 3.95$ (for beam shear) the selected strength reduction factors ϕ for different scenarios and are listed in Table 6.

Table 6. Selected strength reduction factors ϕ for beam shear resistance

Scenario	ϕ at $\beta_T = 3.95$					
	1.2D+1.6L		1.4D+1.7L		1.7D+2.0L	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
1	0.950	0.825	1.000	0.875	1.100	0.950
2	0.925	0.825	0.988	0.875	1.100	0.950
3	0.925	0.800	0.975	0.850	1.075	0.913
4	0.925	0.850	0.975	0.900	1.083	0.975
5	0.900	0.800	0.950	0.850	1.083	0.913
6	0.875	0.800	0.913	0.875	1.000	0.900
Average	0.917	0.817	0.967	0.871	1.073	0.933

The design formula for columns was given in equation (10).

$$P_n = 0.80 \times 0.85 [0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (10)$$

Where P_n is nominal axial resistance, A_g is cross sectional gross area, A_{st} is cross sectional area of longitudinal reinforcing steel, $f_y A_{st}$ is the product of rebar cross sectional area and yield strength of longitudinal reinforcing steel. (The distribution of 12mm and 16mm diameters together was used).

The factor 0.80 in front of the right hand side of equation (10) serves for the reduction of axial resistance due to the load eccentricity not considered in the analysis (ACI Committee 318, 1989). For pure axial resistances, this factor should be removed from equation 10 so it becomes

$$P_n = 0.85[0.85 f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (11)$$

With the given target reliability= $\beta_T = 3.98$ (for columns) the selected for different reinforcement ratios (2%, 4%, 6%, 8% for case 1 and 1%, 2%, 3%, 4% for case 2) are listed in Table 7.

Table 7. Selected strength reduction factors ϕ for column axial load resistance

Reinforcement ratio ρ_t	ϕ at $\beta_T = 3.98$					
	1.2D+1.6L		1.4D+1.7L		1.7D+2.0L	
	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2	Case 1	Case 2
1%	-	0.513	-	0.538	-	0.575
2%	0.800	0.583	0.850	0.613	0.900	0.650
3%	-	0.625	-	0.663	-	0.700
4%	0.825	0.675	0.875	0.683	0.925	0.725
6%	0.825	-	0.875	-	0.925	-
8%	0.800	-	0.850	-	0.913	-
Average	0.813	0.599	0.863	0.624	0.916	0.663

4. CONCLUSIONS

From the Monte Carlo simulations and reliability analyses presented in this paper, the recommend strength reduction factors for large construction sites are 0.86, 0.90, 0.95 (bending in beams), 0.92 0.97 1.07 (shear in beams) and 0.81, 0.86, 0.92 (tied columns) for the load factors: 1.2D+1.6L, 1.4D+1.7L, 1.7D+2.0L respectively. The recommend strength factor for small construction sites are 0.79 0.80 0.86 (bending in beams), 0.82, 0.87 0.93 (shear in beams) and 0.60 0.62 0.66 (tied columns) for the load factors: 1.2D+1.6L, 1.4D+1.7L, 1.7D+2.0L respectively. Table 8 shows the strength reduction factors for all cases. Please noted in some cases, these factors are above 1.00 meaning that in order to maintain the same level of reliability, the design strengths of the section need not to be higher than the calculated factored load effects.

Table 8. The selected strength reduction factors ϕ for all cases

Limits State	ϕ					
	Large construction sites			Small construction sites		
	1.2D+1.6L	1.4D+1.7L	1.7D+2.0L	1.2D+1.6L	1.4D+1.7L	1.7D+2.0L
Bending in beams	0.856	0.897	0.953	0.788	0.797	0.863
Shear in beams	0.917	0.967	1.073	0.817	0.871	0.933
Tied column	0.813	0.863	0.916	0.599	0.624	0.663

5. CITATIONS AND REFERENCES

ACI Committee 318. 1989. **Building Code Requirements for Structural Concrete ACI318-89.**

Farmington Hill, MI: American Concrete Institute.

American Society of Civil Engineers. 2010. **Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures SEI/ASCE7.**

Engineering Institute of Thailand Committee. 1995. **Reinforced Concrete Design Standards for Buildings – Strength Method EIT 1008-38.** Bangkok: EIT.

Ministry of the Interior of Thailand. 1984. **Sixth Regulation According to 1979 Building Regulation.**

Nowak, A. S. and M. M. Szerszen, “Calibration of design code for buildings (ACI 318): Part 1 – Statistical models for resistance,” **ACI Structural Journal**, vol.100, no. 3, pp. 377-382, May-June 2003.

Nowak, A. S. and K. R. Collins. 2013. **Reliability of Structures** Second Edition. CRC Press. Boca Raton FL, USA.

Suchinda, C. “Statistical Characteristics of Material and Fabrication for Concrete Structures in Thailand,” **The 5th PSU-UNS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011)**, Phuket, Thailand, May 2-3, 2011.

Szerszen, M. M. and Nowak, A. S. 2003. "Calibration of Design Code for Building (ACI318): Part 2 – Reliability Analysis and Resistance Factor." **ACI Structural Journal**. 100, 3: 383-391.
Reston, VA: ASCE.

Thai structural and soil building codes committee. 2005. "Public Hearing: Improving the standards related to structural and geotechnical engineering." 12 May 2005. Rama Gardens Hotel.
Bangkok : Department of Public Works and Town and Country Planning.

การระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

POWER DISTRIBUTION OUTAGE CAUSE IDENTIFICATION

USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

สุพิชญ์ ปุณยกุลเศรษฐ์

นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : suphicha.p@hotmail.com

ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail : dulpichet.r@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์สำหรับการระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขต 3 ในปี 2555 ถูกนำมาใช้สร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องและสภาพอากาศในการระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง จากนั้นนำแบบจำลองที่ได้มาทดสอบกับข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้องปี 2556 โดยเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากแบบจำลองกับสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจริง พบว่ามีความถูกต้องประมาณ 75% ประโยชน์ที่ได้จากแบบจำลองนี้จะช่วยให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องในกรณีที่พนักงานไม่สามารถตรวจพบสาเหตุได้ และสามารถนำข้อมูลสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องดังกล่าวไปประกอบการวางแผนบำรุงรักษาระบบให้มีความเชื่อถือได้สูงขึ้นต่อไป

คำสำคัญ : การระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง ไฟฟ้าขัดข้องที่ไม่ทราบสาเหตุ โครงข่ายประสาทเทียม

ABSTRACT

This paper presents computer modeling to identify power outage causes in power distribution systems using artificial neural networks. Annual outage event records in year 2012 of Provincial Electricity Authority (PEA), north-eastern region 3, are used to create the model for identifying outage causes by using outage duration and weather conditions as predictors. Next, the model is tested with outage event records in year 2013 by comparing between predicted causes and actual causes. The result accuracy is approximately 75 %. The proposed model will benefit PEA in identifying power outage causes of events that cannot be found by personnel. As a result, the identified causes will be realized, and used as important information in maintenance planning for higher reliability.

KEYWORDS : Outage cause identification, Unknown outage cause, Artificial neural network.

1. บทนำ

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง เพื่อใช้ในการคำนวณหาดัชนีความเชื่อถือได้ มาตั้งแต่ปี 2537 ซึ่งได้มีการพัฒนาโปรแกรมในการจัดเก็บข้อมูลจนถึงปัจจุบันได้มีการจัดการฐานข้อมูลในรูปของ MS Access โดยแต่ละเหตุการณ์ที่บันทึกในฐานข้อมูลมีรายละเอียดต่างๆ เช่น วัน-เวลาที่ไฟดับ ระยะเวลาที่ไฟดับ สาเหตุไฟดับ และสภาพอากาศขณะเกิดเหตุการณ์ไฟดับ เป็นต้น อย่างไรก็ตามพบว่าข้อมูลกว่า 30% ของเหตุการณ์ไฟดับที่บันทึกไว้ทั้งหมด เป็นเหตุการณ์ที่ไม่ทราบสาเหตุ ซึ่งในการนำฐานข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในแง่ของการวางแผนปรับปรุงหรือบำรุงรักษาระบบ จะไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากข้อมูลส่วนที่ไม่ทราบสาเหตุนั้น มีส่วนทำให้การเลือกมาตรการปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบทำได้ไม่ตรงจุดเท่าที่ควร ดังนั้นการหาแบบจำลองเพื่อช่วยในการสนับสนุนสาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง เมื่อทราบค่าระยะเวลาที่ไฟดับ และทราบสภาพอากาศในช่วงเวลาที่เกิดเหตุการณ์ จะช่วยให้สามารถนำข้อมูลเหตุการณ์ที่ไม่ทราบสาเหตุ กลับเข้ามาร่วมในการวิเคราะห์วางแผนมาตรการปรับปรุง บำรุงรักษาระบบได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ซึ่งจากการศึกษาการทนายสาเหตุของเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคกลาง ในปี 2552 โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลต่างๆ คือ ริปเปอร์ ต้นไม้ตัดสินใจ และนาอ็อบ์ ในการสร้างแบบจำลองด้วยข้อมูลอินพุตในการสร้างแบบจำลองจำนวน 10 อินพุต พบว่าวิธีต้นไม้ตัดสินใจสามารถทำนายสาเหตุได้แม่นยำที่สุด (ขจรศักดิ์, 2552) แต่การใช้ข้อมูลอินพุตจำนวนมากก็มีโอกาสสูงที่จะพบปัญหาความไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ของอินพุตใดอินพุตหนึ่งและอาจส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์ได้ เพื่อลดปัญหาดังกล่าว การศึกษานี้จึงเลือกใช้ข้อมูลอินพุตย่อยลงโดยที่ยังต้องได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องในเกณฑ์ใกล้เคียงกับผลการศึกษาดั้งเดิม ซึ่งข้อมูลอินพุตที่เลือกมาสร้างแบบจำลองมี 2 อินพุต คือ สภาพอากาศ และระยะเวลาที่ไฟดับ เนื่องจากเป็นข้อมูลอินพุตพื้นฐานที่ต้องมีการบันทึกไว้สำหรับทุกเหตุการณ์ และเมื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ (Correlation) ของข้อมูลอินพุตทั้งสองกับสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องแล้ว พบว่ามีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.521 ซึ่งแม้ค่าความสัมพันธ์นี้จะไม่สูงมากนัก แต่ก็ยังเป็นข้อมูลอินพุตที่มีความสัมพันธ์กับสาเหตุไฟดับมากที่สุดเมื่อเทียบกับข้อมูลอินพุตอื่นๆ

Xu and Chow (2006) ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Analysis ; LR) และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network; ANN) มาใช้ในการระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากสัตว์และต้นไม้ โดยใช้ข้อมูลอินพุต คือ รหส์วงจร สภาพอากาศ ฤดูกาล เวลาเกิดเหตุ จำนวนเฟสที่ดับ และอุปกรณ์ป้องกันที่ทำงาน สำหรับการไฟฟ้าแห่งหนึ่งในสหรัฐอเมริกา พบว่าวิธีโครงข่ายประสาทเทียมมีความสามารถในการจดจำ เรียนรู้ และระบุสาเหตุได้ดีกว่า นอกจากนี้โครงข่ายประสาทเทียมยังเป็นวิธีการที่เป็นที่นิยมดังจะเห็นได้จากการนำไปใช้สร้างแบบจำลองในการพยากรณ์อุบัติเหตุบนท้องถนนโดย Ogwueleka *et al.* (2014) อีกด้วย ดังนั้นในงานศึกษานี้จึงเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมมาสร้างแบบจำลองการระบุสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สำหรับเหตุการณ์ในปี 2556

2. ข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลอง

ในการศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียม เพื่อสนับสนุนสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องนี้ ได้ใช้ฐานข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง ปี 2555 ตาราง “Event Custom” ซึ่งมีจำนวนเหตุการณ์รวมทั่วประเทศ (12 เขต) ทั้งสิ้น

166,774 records จากโปรแกรม จฟ.3 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยพิจารณารายละเอียดของข้อมูลใน 7 fields จากทั้งหมด 51 fields ของแต่ละ records ดังนี้

- Event ID (รหัสเหตุการณ์)
- PEA Code (รหัสพื้นที่การไฟฟ้า)
- Event or Plan (เหตุการณ์นั้นไม่ใช้การวางแผนดับไฟ ใช่หรือไม่)
- Total Time (ระยะรวมที่ไฟดับในครั้งนั้น)
- Known Cause (ทราบสาเหตุหรือไม่)
- Cause Type (สาเหตุไฟดับ)
- Weather (สภาพอากาศ)

จากข้อมูลทั้ง 7 fields ข้างต้น ได้ทำการ query ออกมาได้ทั้งสิ้น 3,321 Records ภายได้เงื่อนไขในการ query ดังตารางที่ 1 โดยในภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลที่ query และ export จาก MS Access ไปยัง MS Excel และตารางที่ 2 แสดงความหมายของรหัสสภาพอากาศ (Weather Condition ; WC) รหัสสาเหตุไฟดับ (Technical Cause ; TC) และจำนวนครั้งไฟดับในแต่ละสาเหตุ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการ Query ข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์

Field	ประเภท	เงื่อนไขในการ query	คำอธิบาย
Event ID	String	Non-duplicated	เป็นเหตุการณ์ที่ไม่ซ้ำกัน
PEA Code	String	Like "06*"	เหตุเกิดขึ้นในพื้นที่ กฟภ. จ.3
Event or Plan	Binominal	"True"	ไม่ใช้การวางแผนดับไฟ
Total Time	Integer	>=1	ระยะเวลาไฟดับนาน 1 นาทีขึ้นไป
Known Cause	Binominal	"True"	เป็นเหตุการณ์ที่ทราบสาเหตุ
Cause Type	Nominal	Any	พิจารณาทุกสาเหตุ
Weather Condition	Nominal	Any	พิจารณาทุกสภาพอากาศ

ในตารางที่ 2 ได้แสดงจำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขต 3 จำแนกตามสาเหตุไว้ด้วย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดจาก ต้นไม้ อุปกรณ์ สัตว์ และสภาพสิ่งแวดล้อม เกิดขึ้นบ่อยครั้งกว่าสาเหตุอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือมีจำนวนรวมกันถึง 3,087 เหตุการณ์ หรือคิดเป็น 93% ของเหตุการณ์ที่ทราบสาเหตุทั้งหมด และเมื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของสาเหตุที่จะเกิดขึ้นจริง แต่ผู้บันทึกเหตุการณ์ไม่ทราบสาเหตุนั้น จะเห็นได้ว่าสาเหตุอื่นๆ ที่แม้จะเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้ง แต่ก็ป็นสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องที่มักมีความชัดเจนในแง่ของพยาน หลักฐาน และสถานที่เกิดเหตุอยู่แล้วโดยไม่จำเป็นต้องมีการสันนิษฐาน เช่น สาเหตุจากพนักงาน กฟภ. และบุคคลภายนอก (TC003 และ TC004) ย่อมต้องมีหลักฐานเป็นรายงานผู้บาดเจ็บ สาเหตุจากยานพาหนะ คือ รถชนเสา (TC006) ย่อมต้องพบร่องรอยการเฉี่ยวชนที่เสาไฟฟ้า หรือแจ้งเป็นรายงานเสาไฟฟ้าหัก ล้ม สาเหตุจากการจ่ายเกินพิกัด จะต้องมียหลักฐานการบันทึกค่าโหลดที่สถานีไฟฟ้าเพื่อยืนยัน ส่วนสาเหตุวัสดุเปลืองเปลือง เช่น ป้ายโฆษณา หรือ วาว ก็จะต้องพบเห็นวัสดุนั้นติดอยู่ที่สายไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นใน

การสร้างแบบจำลอง จึงตัด TC003, TC004, TC006, TC007, TC009, TC010, TC011 และ TC012 ออกไปจากการสนับสนุน โดยมีจำนวนเหตุการณ์รวมกันเพียง 7% ของเหตุการณ์ที่ทราบสาเหตุทั้งหมด ซึ่งการตัดสาเหตุอื่นออกให้เหลือ 4 สาเหตุหลักที่จะสนับสนุน คือ ต้นไม้ (TC001) อุปกรณ์ (TC002) สัตว์ (TC005) และสภาพสิ่งแวดล้อม (TC008) นั้น นอกจากช่วยลดความซับซ้อนของแบบจำลองลงได้แล้ว ยังไม่ทำให้แบบจำลองมีความแม่นยำน้อยลงเท่าใดนักด้วย

	A	B	C	D
1	EventID	TotalTime	Weather	CauseType
2	311225561700SAM07H015000	50	WC01	TC001
3	311225561150BNN03H008000	60	WC02	TC005
4	311025561803NOA02H049000	34	WC01	TC005
5	311025561800BNN03H010002	70	WC01	TC005
6	311025561755CHA02H052000	47	WC01	TC005
7	311025561730BUY02H014000	108	WC05	TC002
8	311025561523SUA05B001000	11	WC01	TC005
9	311025561520PCB04H007000	60	WC01	TC005
10	311025561520PCA09H010000	85	WC01	TC005
11	311025561200NOK01G002000	94	WC01	TC005
12	311025561110BNN03H008000	35	WC01	TC005
13	311025560955PVA02H004000	65	WC03	TC005
14	310825562300SFA01H009000	30	WC01	TC005
15	310825561920NOA02H032000	70	WC06	TC005

ภาพที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลที่ query และ export จาก MS Access ไปยัง MS Excel

ตารางที่ 2 รหัสสภาพอากาศ รหัสสาเหตุไฟดับและ จำนวนเหตุการณ์ไฟดับ จำแนกตามสาเหตุ

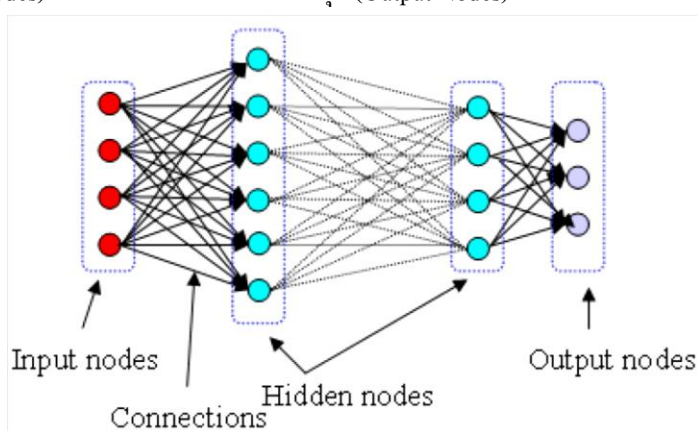
รหัส*	สภาพอากาศ	รหัส	สาเหตุ	จำนวนครั้งไฟดับ
WC01	อากาศปกติ	TC001	ต้นไม้	530
WC02	อากาศชื้น หมอก	TC002	อุปกรณ์	473
WC03	ลมแรง	TC003	พนักงาน กฟภ.	27
WC04	ฝนตก	TC004	บุคคลภายนอก	8
WC05	ฝนตก ลมแรง	TC005	สัตว์	1,452
WC06	ฝนตก ฟ้าคะนอง	TC006	ยานพาหนะ	47
<u>หมายเหตุ</u> ในการสร้างแบบจำลองด้วยโครงข่ายประสาทเทียมนี้ จำเป็นต้องแปลงรหัสสภาพอากาศ WC01 ถึง WC06 ให้เป็นค่าความรุนแรงของสภาพอากาศในระดับ 1 ถึง 6 แทน		TC007	วัสดุแปลกปลอม	100
		TC008	สภาพสิ่งแวดล้อม (เช่น ฟ้าผ่า)	632
		TC009	ภัยธรรมชาติ	43
		TC010	สงคราม/จลาจล	0
		TC011	จ่ายเกินพิกัด	2
		TC012	อื่นๆ	7
		รวม		

3. พื้นฐานโครงข่ายประสาทเทียม และการตรวจสอบ

3.1 โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์บนดิจิทัลคอมพิวเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยหน่วยประมวลผล (Processing Elements) เชื่อมโยงกันหลายๆ ตัวในลักษณะขนาน คล้ายกับโครงข่ายประสาทในสมองมนุษย์ โดยมีลักษณะเป็นสถาปัตยกรรมแบบขนาน (Parallel Architecture) เพื่อแปลงข้อมูลจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง โครงข่ายประสาทเทียมจึงมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) และการอุปมาความรู้ (Knowledge Deduction) (ภริณยา และคณะ, 2552)

ในโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบไปด้วย 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นของอินพุต (Input Nodes) ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นซ่อน (Hidden Nodes) ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของเอาต์พุต (Output Nodes) ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น

ภาพที่ 2 แสดงโครงข่ายที่มีชั้นซ่อน 2 ชั้น วงกลมในรูปแสดงโหนดหรือนิวรอน และลูกศรแสดงทิศทางการเชื่อมต่อของการเคลื่อนที่ของสัญญาณระหว่างนิวรอนในแต่ละชั้น ซึ่งแทนด้วยค่าตัวเลขน้ำหนักระหว่างนิวรอน โดยมีกระบวนการฝึกแบบมีการสอน (Supervised Learning) และใช้ขั้นตอนการส่งค่าย้อนกลับ (Back Propagation Algorithm) ซึ่งเป็นกระบวนการในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อยกหว่างโหนดให้เหมาะสมโดยการปรับค่านี้นี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ โดยอาศัยประสบการณ์ที่ได้จากความรู้ของการแปลงสัญญาณระหว่างอินพุตและเอาต์พุตภายในโครงข่ายแบบหลายชั้น

3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการศึกษานี้ ได้ทำการตรวจสอบค่าผิดพลาดในการสันนิษฐานของแบบจำลอง โดยวิธีตรวจสอบไขว้ (k-fold cross validation) ซึ่งพื้นฐานของวิธีการนี้คือการสุ่มตัวอย่าง (Re-sampling) โดยเริ่มจากแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น k ส่วนเท่าๆ กัน และคำนวณค่าความผิดพลาด k รอบ ซึ่งแต่ละรอบการคำนวณ จะกันข้อมูลชุดหนึ่งจากจำนวน k ชุด ไว้เป็นข้อมูลทดสอบ ส่วนข้อมูล k-1 ชุดที่เหลือจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ของโครงข่าย และเลือกแบบจำลองที่ให้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดมาใช้ (Tan et al., 2006)

ตัวอย่างของ 5-fold cross validation แสดงดังภาพที่ 3

Iteration 1: train on	2	3	4	5	, test on	1
Iteration 2: train on	1	3	4	5	, test on	2
Iteration 3: train on	1	2	4	5	, test on	3
Iteration 4: train on	1	2	3	5	, test on	4
Iteration 5: train on	1	2	3	4	, test on	5

ภาพที่ 3 ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลทดสอบ ในการตรวจสอบไขว้กัน 5 ส่วน (5-fold cross validation)

ความถูกต้องรวมของแบบจำลอง คำนวณได้ดังสมการที่ (1) และความถูกต้องของแบบจำลองในการ สันนิษฐานแต่ละสาเหตุ คำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$Accuracy (\%) = \frac{\sum T_c}{N} \times 100 \quad (1)$$

$$Class \ precision (\%) = \frac{T_c}{\sum P_c} \times 100 \quad (2)$$

โดย

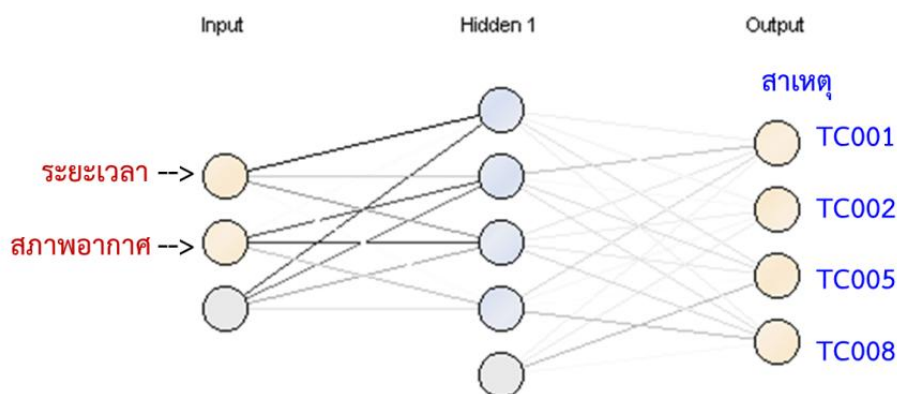
- T_c คือ จำนวนเหตุการณ์ที่สันนิษฐานถูกต้องในสาเหตุนั้นๆ
- c คือ สาเหตุสันนิษฐาน ประกอบด้วย TC001, TC002, TC005 และ TC008
- N คือ จำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด
- P_c คือ จำนวนเหตุการณ์ที่ถูกสันนิษฐานว่าเป็นสาเหตุนั้น

4. การสร้างแบบจำลอง

ในการศึกษาแบบจำลองคอมพิวเตอร์เพื่อสันนิษฐานสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องนี้ ได้สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยทำการทดสอบด้วยวิธี 10-fold Cross Validation กำหนดประเภทการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Type) เป็นแบบ Shuffled Sampling และกำหนดค่าสำหรับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม ตามค่าตั้งต้นของโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ (Akthar and Hahne, 2012) ดังนี้

- Training Cycles : 500 (Feed-forward Neural Network)
- Learning Rate : 0.3 (Back-propagation Algorithm)
- Momentum : 0.2
- Error Epsilon : 10^{-5}

ภาพที่ 4 แสดงแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เมื่อกำหนดจำนวนชั้นซ่อน 1 ชั้น โดยอินพุตคือ ระยะเวลาทั้งหมดที่ไฟดับ (Total Time) เป็นนาฬิกา และสภาพอากาศขณะเกิดเหตุการณ์ (Weather Conditions) เป็นระดับความรุนแรงของสภาพอากาศ เรียงจาก อากาศปกติ (ระดับ 1) ถึง ฝนตก พายุคะนอง (ระดับ 6) ในตารางที่ 2 ส่วนเอาต์พุต คือ สาเหตุหลักที่สันนิษฐาน จำนวน 4 สาเหตุ คือ TC001, TC002, TC005 และ TC006



ภาพที่ 4 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อสันนิษฐานสาเหตุ

ความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ในการสันนิษฐานแต่ละสาเหตุแสดงดังภาพที่ 5 โดยมีค่าความถูกต้องเท่ากับ $(299+9+1,334+538) \times 100 / 3,087 = 70.62\%$

accuracy: 70.62% +/- 2.03% (mikro: 70.62%)				
	true TC001	true TC002	true TC005	true TC008
pred. TC001	299	121	93	66
pred. TC002	8	9	4	0
pred. TC005	154	303	1334	28
pred. TC008	69	40	21	538

ภาพที่ 5 ความถูกต้องของแบบจำลองในการสันนิษฐานแต่ละสาเหตุ

จากผลที่แสดงในภาพที่ 5 สามารถคำนวณความถูกต้องในการสันนิษฐานแต่ละสาเหตุ ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{TC001 precision (\%)} &= \text{true TC001} \times 100 / \sum \text{pred. TC001} \\
 &= 299 \times 100 / (299+121+93+66) = 51.64\% \\
 \text{TC002 precision (\%)} &= 9 \times 100 / (8+9+4+0) = 42.86\% \\
 \text{TC005 precision (\%)} &= 1334 \times 100 / (154+303+1334+28) = 73.34\% \\
 \text{TC008 precision (\%)} &= 538 \times 100 / (69+40+21+538) = 80.54\%
 \end{aligned}$$

5. การนำแบบจำลองไปใช้

เมื่อทดลองใช้แบบจำลองที่ได้จากการศึกษาข้างต้น มาสันนิษฐานสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขต 3 ปี 2556 จำนวนทั้งสิ้น 4,887 เหตุการณ์ที่ทราบสาเหตุอยู่แล้ว พบว่าแบบจำลองที่นำมาใช้ สามารถสันนิษฐานสาเหตุได้ถูกต้องจำนวน 3,702 เหตุการณ์ หรือคิดเป็น 75.15% โดยในภาพที่ 6 ได้แสดงตัวอย่างผลการสันนิษฐานสาเหตุ (คอลัมน์ที่ 3) และค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ในการสันนิษฐาน โดยใน

คอลัมน์ที่ 2 คือสาเหตุจริงของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ส่วนในสองคอลัมน์ข้างสุดคือระยะเวลาไฟดับ เป็นนาที และระดับความรุนแรงของสภาพอากาศ ซึ่งเป็นอินพุตสำหรับแบบจำลอง

EventID	CauseType	prediction(CauseType)	confidence(TC001)	confidence(TC002)	confidence(TC005)	confidence(TC008)	TotalTime	Weather
311225551600BN	TC005	TC001	0.474	0.207	0.193	0.126	30	3
311225551527CH	TC005	TC005	0.042	0.175	0.770	0.013	26	1
311025551932CH	TC005	TC005	0.046	0.186	0.756	0.012	45	1
311025551930SA	TC005	TC005	0.044	0.182	0.761	0.013	40	1
311025551020BN	TC005	TC005	0.044	0.182	0.761	0.013	40	1
311025550939BN	TC005	TC001	0.468	0.205	0.198	0.128	21	3
311025550219NA	TC008	TC008	0.066	0.058	0.033	0.843	26	6
311025550140NC	TC008	TC008	0.065	0.057	0.032	0.847	30	6
310825552110SA	TC005	TC005	0.043	0.179	0.765	0.013	35	1
310825551910SA	TC005	TC005	0.048	0.192	0.748	0.012	50	1
310825551900HT	TC001	TC001	0.398	0.230	0.171	0.200	52	4
310825551830SA	TC005	TC005	0.041	0.173	0.772	0.013	20	1
310825551825PV	TC008	TC008	0.066	0.058	0.033	0.842	25	6
310825551700SA	TC005	TC001	0.363	0.218	0.192	0.228	35	5
310825551530KK	TC005	TC005	0.044	0.182	0.761	0.013	40	1

ภาพที่ 6 ตัวอย่างเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในปี 2556 ที่ทดลองใช้แบบจำลองปี 2555 มาสันนิษฐานสาเหตุเปรียบเทียบกับสาเหตุจริง

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการใช้โครงข่ายประสาทเทียมเพื่อสันนิษฐานสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องนี้ พบว่าแบบจำลองที่ได้จากกรณีศึกษาพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขต 3 ปี 2555 มีความถูกต้องในการสันนิษฐานสาเหตุปี 2556 ประมาณ 75% ทำให้การนำฐานข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องไปใช้ในการวางแผนปรับปรุง บำรุงรักษาระบบจำหน่าย โดยนำข้อมูลส่วนที่ไม่ทราบสาเหตุมาร่วมในการพิจารณาด้วยนั้นสามารถทำได้ และทำให้การวางแผนมีความสมบูรณ์และช่วยให้การแก้ปัญหาในระบบได้ตรงจุดมากขึ้นต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- ขจรศักดิ์ ศรีอ่อน. 2552. “การทำนายสาเหตุของเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้องโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล ในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคกลาง.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภรณ์ชา อามฤรัตน์, เดช ธรรมศิริ, วาทีน น้อยเพียร, ภัทราวุธ แสงศิริ, ณรงค์ โพธิ์ และพวง มีสัจ. 2552. “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดเลือกและจำแนกข้อมูลด้วยวิธีการทางเครือข่ายประสาทเทียม.” *The 5th National Conference on Computing and Information Technology (NCCIT 2009)*. 131-138.
- Pang-Ning Tan, Michael Steinbach and Vipin Kumar. 2006. **Introduction to Data Mining**. Boston: Pearson Education, Inc.
- Fareed Akthar and Caroline Hahne. 2012. **Rapidminor 5 Operator Reference**. Dortmund: Rapid-I GmbH.

Le Xu and Mo-Yuen Chow. 2006. "A Classification Approach for Power Distribution Systems Fault Cause Identification." **IEEE Transactions on Power Systems**, 21, 1: 53-60.

Francisca Nonyelum Ogwueleka, Sanjay Mishra, Toochukwu Chibueze Ogwueleka and L.Fernandez-Sanz. 2014. "An Artificial Neural Network Model for Road Accident Prediction: A Case Study of a Developing Country." **Acta Polytechnica Hungarica**, 11, 5: 177-197.

การประยุกต์ใช้หลอดไฟฟ้าชนิดแอลอีดีสำหรับการทำประมงเพื่อการประหยัดพลังงาน
THE APPLICATION OF LED LAMPS TO THE FISHING LURING LIGHT
FOR ENERGY SAVING

นพพร วายาโม

นักศึกษานิเทศศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : Nopporn28@hotmail.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิมิต บุญภิรมย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : Nimit.bo@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการประยุกต์ใช้หลอดไฟฟ้าชนิดแอลอีดีสำหรับการทำประมงเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้โคมไฟฟ้าแอลอีดีทดแทนการใช้หลอดไฟฟ้าชนิดความดันไอสูง High-intensity discharge (HID) เป็นโคมไฟส่องสว่างแบบดั้งเดิมเพื่อการประหยัดพลังงาน จากการทำการทดลองแบบดั้งเดิมและประสบการณ์การจับสัตว์น้ำของชาวประมงมีความเชื่อว่าการใช้แสงไฟจะต้องมีปริมาณแสงสูงและมีการกระจายเป็น วงกว้าง จึงจะทำให้ได้สัตว์น้ำจำนวนมาก มีผลให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก บทความนี้เป็นการศึกษาและตรวจวัดการกระจายแสงของเรือประมงที่ใช้หลอด HID แบบดั้งเดิม จำนวน 1 ลำ ในจังหวัดชลบุรี และวัดแสงจากโคมชนิดเดียวกันในห้องทดลอง ทำการจำลองปริมาณการส่องสว่างและออกแบบการกระจายแสงจากการใช้หลอดไฟแอลอีดีที่เหมาะสมจากนั้นนำไปติดตั้งกับเรือประมงลำดังกล่าว บันทึกข้อมูลการใช้หลอดไฟทั้ง 2 ชนิดในเรือลำเดียวกันเป็นระยะเวลา 4 วัน ผลการทดสอบพบว่าผลการกระจายแสงและคุณสมบัติของแสงสามารถเพิ่มปริมาณการจับสัตว์น้ำได้มากกว่าแบบดั้งเดิม อัตราการใช้น้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เครื่องยนต์เรือขับเคลื่อนด้วยหลอดไฟ HID ใช้ น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 2.37 ลิตรต่อชั่วโมง ขณะที่หลอดไฟ LED ใช้ น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 1.39 ลิตรต่อชั่วโมง ทำให้ลดการใช้ น้ำมันดีเซลการผลิตไฟฟ้าได้ 41 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การทำประมงโดยใช้แสงไฟเป็นตัวล่อสัตว์น้ำ แอลอีดี หลอดความดันไอสูง ประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

This paper presents the application of LED lamps into the fishing luring light for energy saving. The main objective is to study on the conversional HID luring light replacing by LED in order to energy saving. As the conversional fishing and fisher experience expect that the high illuminant and wide spread of luminaire affect to the fish attraction, thus the power is high consumed. For this reason, the experimental results are carry on by measuring the illuminant of the one sample fishing luring light on fishing boat in Chonburi and the individual fishing light in the laboratory. Moreover, the optimal illuminant design modal is applied on the same sample boat for recording and investigating by four days. As the results, the characteristic and illuminant of LED cause to increase the number of fishing more than the conversional fishing. Finally, the comparison of diesel consumption power between HID lamp and LED lamp are 2.37 litre/hour and 1.39 litre/hour respectively. Therefore, the total reduction rated is significantly reduced as 58 percent.

KEYWORDS: Fishing luring light, LED, HID, Energy saving.

1. บทนำ

ปัจจุบันการทำประมงเพื่อจับสัตว์น้ำได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีมาอย่างต่อเนื่องซึ่งชาวประมงได้พยายามคิดค้นวิธีการจับสัตว์น้ำให้ทันสมัยเพื่อที่จะสามารถจับสัตว์น้ำได้มากที่สุด โดยรูปแบบการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการทำประมงอีกชนิดหนึ่งที่มีการพัฒนากันมาอย่างยาวนานคือการทำประมงโดยใช้โคมไฟล่อสัตว์น้ำ (Luring Light Fishing) (แหล่งเรียนรู้เรื่องประมง et al., 2010) เนื่องจากทำให้จับสัตว์น้ำได้มากและจับสัตว์น้ำได้หลายชนิดในคราวเดียวกัน การทำประมงโดยใช้แสงไฟล่อสัตว์น้ำนั้น สัตว์น้ำเกือบทุกชนิดจะตอบสนองต่อแสงไฟซึ่งมีทั้งการเข้าหาและการหลบหลีกแสงไฟ (Breder, 1967; Breder and Halpern, 1946) ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่มีมาแต่กำเนิด (Douglas and Mustafa, 1990) แต่ส่วนใหญ่สัตว์น้ำจะตอบสนองในลักษณะเข้าหาแสงไฟ จากสถิติเรือประมงไทยล่าสุด พบว่าเรือประมงที่มีการใช้แสงไฟเป็นตัวล่อสัตว์น้ำประเภทวนครอบหมึกมีการจดทะเบียนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องปัจจุบันมีทั้งสิ้นจำนวน 3,293 ลำ (ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง, 2557) โดยสัตว์น้ำส่วนใหญ่ที่ชาวประมงนิยมจับด้วยวิธีใช้แสงไฟเป็นตัวล่อสัตว์น้ำ ได้แก่ ปลาหมึก และปลากะตัก สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการจับสัตว์น้ำ ได้แก่ อวนยกแหหมึก อวนครอบ หลอดไฟที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นหลอดไฟชนิด Incandescent, High-intensity discharge (HID) และ Mercury Lamp ซึ่งชาวประมงจะเลือกใช้หลอดไฟที่มีกำลังไฟฟ้าสูงประมาณ 400 – 1,500 วัตต์ เพื่อให้มีปริมาณแสงไฟมากที่สุดทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน โดยมีการศึกษาลักษณะของแสงไฟแอลอีดี (Light Emitting Diode: LED) พบว่า มีความเหมาะสมสำหรับการทำประมงโดยใช้แสงไฟ (Li Tian Hua and Jing Xing, 2013)

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์การทำประมงโดยใช้โคมไฟเป็นตัวล่อสัตว์น้ำ จากการทำประมงโดยใช้หลอด HID และหลอดไฟ LED โดยการจำลองการส่องสว่างของแสงผ่านโปรแกรมและออกแบบการใช้หลอดไฟ LED ในการทำประมง ซึ่งหากสามารถลดปริมาณแสงสว่างที่เกินความจำเป็นจากการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟ LED โดยไม่กระทบต่อผลการจับสัตว์น้ำที่ได้ นอกจากจะสามารถลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจาก

หลอดไฟที่ใช้เป็นตัวล่อสัตว์น้ำลงได้ จะสามารถลดต้นทุนการทำประมงและสามารถประหยัดเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลที่เป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อนลงได้

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายแสงของเรือประมงที่ใช้แสงไฟจากหลอดไฟ High-intensity discharge (HID lamps) เป็นตัวล่อสัตว์น้ำโดยจำลองปริมาณการส่องสว่างจากการใช้หลอดไฟ HID และออกแบบการส่องสว่างของหลอดไฟ LED ที่เหมาะสมสำหรับเรือประมงพร้อมทั้งติดตั้งและทดลองทำประมง เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานการทำประมงจากการใช้หลอดไฟทั้ง 2 ชนิด ในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

3. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

การทำประมงโดยใช้แสงไฟล่อสัตว์น้ำส่วนใหญ่พบในเรือโคหมึก จะใช้อวนครอบเป็นเครื่องมือการทำประมง โดยส่วนใหญ่เรือประมง(เรือโคหมึก) จะมีขนาดตั้งแต่ 12-18 เมตร ใช้เครื่องยนต์ 60-275 แรงม้า มีอุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ เครื่องเอคโคซาวเดอร์(Echo Sounder) โดนาโมขนาด 5 - 40 กิโลวัตต์ หลอดไฟขนาดตั้งแต่ 400 - 1,500 วัตต์ จำนวน 18-50 ดวง และไฟแบบสปอตไลท์ ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 - 10 ดวง กำลังไฟฟ้าแสงสว่างภายในเรือที่ใช้สำหรับล่อสัตว์น้ำตั้งแต่ 10 - 40 กิโลวัตต์ (ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล, 2543)

3.1 วิธีทำการประมง

การทำประมงโดยใช้แสงไฟเป็นตัวล่อสัตว์น้ำจะใช้เครื่องมืออวนแตกต่างกันไป สำหรับอวนครอบหมึก (Squid falling nets) (marinertai et al., 2010) ชาวประมงจะออกหาฝูงสัตว์น้ำ เช่น ปลาเกะตัก ปลาหมึก เฉพาะกลางคืนช่วงเดือนมืดที่ไม่มีแสงจากดวงจันทร์ทำประมงแหล่งน้ำลึกประมาณ 10 - 40 เมตร เมื่อพบฝูงสัตว์น้ำแล้วจะทอดสมอเรือและเตรียมเครื่องมืออวนจึงกับคันไม้ไผ่ขนาดใหญ่ทางกราบและกว้านรั้งเก็บอวนทั้งสี่ด้านไว้ที่ผิวหน้าเปิดไฟทุกดวงเพื่อล่อปลาหมึกให้สว่างที่สุด ยกวันหลอดสปอตไลท์กลางลำเรือ จะใช้เวลาเปิดไฟล่อตั้งแต่ 1 ชั่วโมงขึ้นไป เมื่อเห็นว่ามีสัตว์น้ำหรือปลาหมึกมาตอมแสงไฟมากพอแล้ว จะทยอยดับดวงไฟที่ใช้ล่อทีละดวงจนกระทั่งเหลือเฉพาะไฟราวกลางลำด้านที่ใช้เครื่องมืออวนเสร็จแล้วเปิดไฟสปอตไลท์ที่ใช้และดับไฟดวงอื่นๆ จากนั้นเริ่มหรีไฟสีขาวโดยลดกำลังเครื่องยนต์จนเกือบมืดสนิทฝูงปลาหมึก ส่วนหนึ่งจะว่ายน้ำเข้ามาบริเวณผิวน้ำศูนย์กลางของไฟหรือจึงปล่อยอวนครอบสัตว์น้ำแล้วรีบกว้านสายมารูดปิดด้านล่างผิวน้ำทันที จากนั้นจะเปิดไฟล่อใหม่คืนหนึ่งจะสามารถครอบอวนได้ประมาณ 2 - 15 ครั้ง ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่มืดและความขุกขมของปลาหมึก ปกติจะใช้เวลาในการทำประมงเดือนละ 22 - 24 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพ เช่น คลื่น ลม แสงจากดวงจันทร์

3.2 ลักษณะการมองเห็นของสัตว์น้ำ

ได้มีการศึกษาเรตินาของปลาเกะตัก และปลาหมึกกล้วย พบว่าปลาเกะตักมีตาที่ไวต่อแสง (Sensitive Eyes) ซึ่งน่าจะมากกว่าปลาหมึก โดยที่ปริมาณของแสงเพียงเล็กน้อยก็สามารถที่จะทำให้ปลาเกะตักรวมกลุ่มกันได้ จึงพบว่าไฟ ที่ใช้ในเรือโคหมึกปลาเกะตักจะเปิดไฟหรือซึ่งให้แสงออกสีส้มแดง ในขณะที่เรือโคหมึกจะเปิดไฟสว่างออกสีขาวนวลสำหรับการทำประมงด้วยแสงไฟนั้น สัตว์น้ำจะว่ายเข้าหาแสงไฟโดยมีระยะห่างอยู่ในช่วงของความเข้มแสงที่ใช้ ซึ่งความเข้มของแสงที่มาก บริเวณใกล้ลำเรือดูเหมือนว่าจะไม่มีประโยชน์ในการดึงดูด

สัตว์โดยที่ภายใต้การใช้ความเข้มของแสงไฟที่มากจะพบว่าสัตว์น้ำจะว่ายอยู่บริเวณริมขอบรอบนอกที่สลัวๆของแสงไฟ ซึ่งเป็นที่สามารถปรับการมองเห็นได้ดี ดังนั้นการลดความเข้มของแสงไฟลงนอกจากจะส่งผลให้สัตว์น้ำว่ายเข้ามาใกล้ลำเรือมากขึ้นก็น่าจะเป็นผลให้มีการจับสัตว์น้ำได้ดีขึ้น (กมลพันธุ์ อวยวานนท์, 2551)

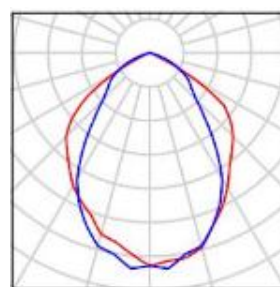
4. วิธีดำเนินการดำเนินการวิจัย

4.1 คัดเลือกเรือประมงและเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้า

การศึกษาลักษณะการกระจายแสงแสงไฟของได้คัดเลือกเรือประมงที่ใช้แสงไฟเป็นตัวล่อสัตว์น้ำจำนวน 1 ลำ ในพื้นที่อำเภอแสมสาร จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีขนาดความยาว 6 เมตร ใช้เครื่องยนต์ดีเซล 22 แรงม้า ติดตั้งหลอดไฟชนิด HID (แสงสีเขียว) ขนาด 400 วัตต์ จำนวน 12 หลอด หลอดไฟ HID (แสงสีขาว) ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 3 หลอด และหลอดไฟ Mercury (แสงสีขาว) ขนาด 500 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ประกอบเข้ากับก้านแขนไม้ไผ่ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีลักษณะ การกระจายแสงของหลอดไฟ HID ดังภาพที่ 2 โดยเรือลำนี้มีกำลังไฟฟ้าแสงสว่างภายในเรือเท่ากับ 7.3 กิโลวัตต์ และมีขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ไดโนโม) ขนาด 10 กิโลวัตต์ ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของหลอดไฟ HID ขนาด 400 วัตต์ มีกำลังไฟฟ้าของหลอด 364.9 วัตต์ ฟลักซ์การส่องสว่าง 23,039 ลูเมน และหลอด HID 500 วัตต์ มีกำลังไฟฟ้าของหลอด 469.6 วัตต์ ฟลักซ์การส่องสว่าง 13,173 ลูเมน ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะหลอด HID ที่ติดตั้งกับเรือประมง

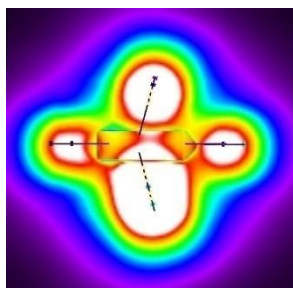


ภาพที่ 2 ลักษณะการกระจายแสงของหลอดHID

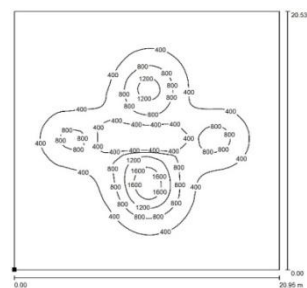
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของหลอดไฟ HID

Lamp	VAC	I	P	PF	Flux (lm)	WL (nm)
HID400W	228.5	3.68	364.9	0.43	23,039	536
HID500W	223.8	2.24	469.6	0.93	13,173	571

จากผลการทดสอบและข้อมูลการใช้หลอดไฟของเรือคำนวณหา กำลังไฟฟ้าการหลอดไฟในการทำประมงได้เท่ากับ 6.7 กิโลวัตต์ ผลการจำลองลักษณะและค่าความเข้มแสงไฟที่ตกกระทบกับพื้นน้ำในแนวระนาบ ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 3 จำลองลักษณะความเข้มของแสงไฟที่ตกกระทบบนพื้นน้ำในแนวระนาบของหลอด HID



ภาพที่ 4 ลักษณะการกระจายแสงและค่าความเข้มของแสงของหลอด HID

ลักษณะการกระจายแสงของเรือประมงในแนวระนาบมีรัศมีกว้าง 7.5 เมตร สำหรับขาไฟด้านซ้ายขวาไฟด้าน หัวเรือ 6 เมตร ขาไฟด้านท้ายเรือ 5.5 เมตร และขาไฟด้านขวา(ฝั่งวนรอบ) 9.90 เมตร เป็นด้านที่มีความเข้มแสงมากที่สุด โดยค่าความเข้มแสงเทียบกับพื้นที่ขนาด 20x20 เมตร จะมีค่าความส่องสว่างมากที่สุด (E_{max}) ค่าความส่องสว่างน้อยที่สุด (E_{min}) และ ค่าความส่องสว่างเฉลี่ย (E_{av}) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความส่องสว่างของการทำประมงโดยใช้หลอด HID เมื่อเทียบกับพื้นที่ระยะ 20x20 เมตร

E _{av} (lx)	E _{min} (lx)	E _{max} (lx)
312	2.53	1,902

4.2 การออกแบบการทดสอบ

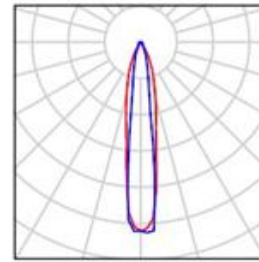
การวิเคราะห์รูปแบบการทำประมงของหลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED ทำการเก็บข้อมูลการทำประมงในข้อกำหนดเดียวกัน โดยทำประมงประเภทหลอดไฟละ 1.30 ชั่วโมง จำนวน 6 ครั้ง / วัน รวมทั้งสิ้น 4 วัน และวัดค่าการกระจายแสงในแนวตั้ง อัตราการใช้เชื้อเพลิงดีเซลเพื่อผลิตไฟฟ้า และผลการทำประมงจากการใช้หลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED

5. การออกแบบแสงไฟ LED

จากพฤติกรรมของปลาหมึกหลายประเภทส่วนใหญ่จะหาอาหารช่วงกลางคืน และผลวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ความเข้มของแสงไฟที่มากสัตว์น้ำจะว่ายอยู่บริเวณริมขอบรอบนอกที่สลัวๆ ของแสงไฟ ซึ่งเป็นที่สามารถปรับการมองเห็นได้ดี ดังนั้นการลดการกระจายแสงและความเข้มของแสงไฟจะสามารถทำให้สัตว์น้ำว่ายเข้ามาใกล้ลำเรือมากขึ้น โดยที่หลอดไฟ HID มีลักษณะการกระจายแสงสว่างไปในทุกทิศทางและเป็นปริมาณกว้าง ซึ่งมีแสงสว่างที่สูญเสียไปในอากาศที่ไม่ได้ใช้งานเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการออกแบบแสงไฟลำนี้จึงมุ่งการกระจายแสงที่ไม่มากนักแต่สามารถส่องสว่างผ่านระดับน้ำทะเลลงไปได้มาก จึงได้เลือกหลอดไฟ LED ดังภาพที่ 7 และมีคุณสมบัติกระจายแสงดังภาพที่ 8 โดยมีช่วงความยาวคลื่นแสงใกล้เคียงกับหลอดไฟ HID และผลการทดสอบทางไฟฟ้างดังตารางที่ 3



ภาพที่ 7 ลักษณะหลอดไฟ LED ที่ใช้ติดตั้งกับเรือประมง

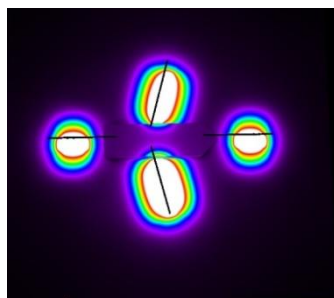


ภาพที่ 8 ลักษณะการกระจายแสงของหลอดไฟ LED

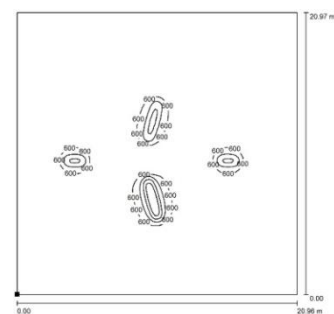
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงของหลอดไฟ LED

Lamp	VDC	I	P	PF	Flux (lm)	WL (nm)
LED 25 W	12	2.29	27.53	1.00	1,246	524

การออกแบบการกระจายแสงของเรือประมงที่ใช้หลอดไฟ LED เพื่อล่อสัตว์น้ำต้องคำนึงถึงขอบไฟ สลัวที่มี รัศมีของแสงไม่มาก เนื่องจากต้องการให้สัตว์น้ำเข้าใกล้ขอบไฟที่สลัวและใกล้ลำเรือเพื่อเตรียมครอบ สัตว์น้ำได้มากกว่าหลอดไฟ HID และต้องการให้แสงไฟลงสู่พื้นน้ำได้ลึกมากกว่าหลอด HID โดยใช้หลอดไฟ LED ขนาด 25 วัตต์ จำนวนทั้งสิ้น 40 หลอด ติดตั้งที่ขาไฟด้านซ้าย 12 ชุด ขาไฟด้านขวา(ฝั่งอวนครอบ) 18 ชุด ขา ไฟด้านหน้าเรือและด้านหลังเรือ จำนวนขาละ 5 ชุด ซึ่งจะใช้กำลังไฟรวมทั้งสิ้น 1.1 กิโลวัตต์ ได้จำลอง ลักษณะและค่าความเข้มแสงไฟ LED ที่ตกกระทบกับพื้นน้ำในแนวระนาบดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ตามลำดับ



ภาพที่ 9 จำลองลักษณะความเข้มของแสงไฟที่ตกกระทบ กับพื้นน้ำในแนวระนาบของหลอด LED



ภาพที่ 10 ลักษณะการกระจายแสงและค่าความเข้ม ของแสงของหลอด LED

ลักษณะการกระจายแสงของเรือประมงที่ออกแบบการใช้หลอด LED มีรัศมีการกระจายแสง 4.5 เมตร สำหรับขาไฟด้านซ้ายขาไฟด้านหัวเรือและท้ายเรือ 4 เมตร และรัศมี 5 เมตร สำหรับขาไฟด้านขวา(ฝั่งอวนครอบ) ซึ่งด้านขวาอวนจะมีความเข้มแสงมากที่สุด มีค่าการส่องสว่างเทียบกับพื้นที่แสงตกกระทบ ดังแสดงในตารางที่ 4 และภาพที่ 11 ลักษณะของเรือประมงที่ติดตั้งหลอดไฟ LED

ตารางที่ 4 ค่าความส่องสว่างของการทำประมงโดยใช้หลอด HID เมื่อเทียบกับพื้นที่ระยะ 20x20 เมตร

Eav(lx)	Emin(lx)	Emax(lx)
179	0.17	1,863



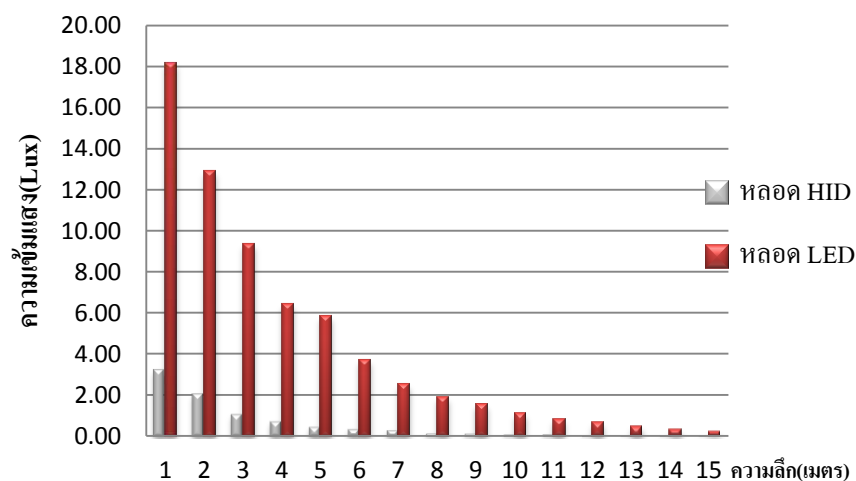
ภาพที่ 11 เรือประมงขณะทดสอบทำประมงโดยใช้หลอดไฟ LED

6. ผลการทดลอง

6.1 การกระจายแสง

ตารางที่ 5 การกระจายแสงแนวตั้งของหลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED

	ค่าความเข้มแสง(Lux)							
ความลึก(เมตร)	1	3	5	7	9	11	13	15
หลอดไฟHID	3.22	1.08	0.48	0.32	0.16	0.14	0.04	0.05
หลอดไฟ LED	18.15	9.34	5.82	2.50	1.54	0.81	0.44	0.19



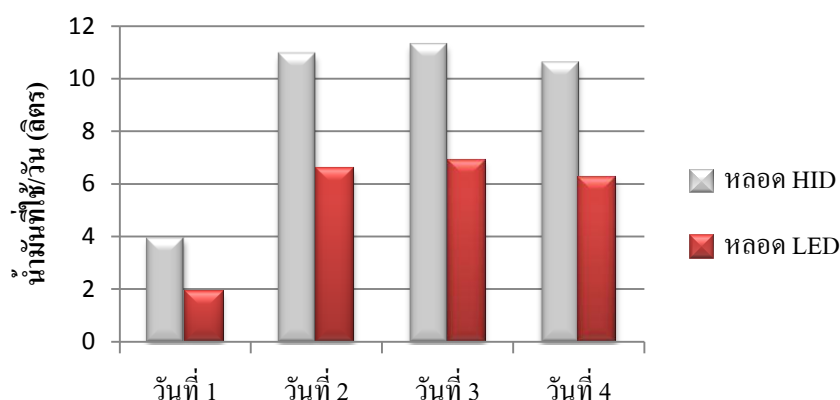
ภาพที่ 12 แสดงการกระจายแสงแนวตั้งของหลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED

การกระจายแสงในแนวดิ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการวัดค่าความส่องสว่าง พบว่า หลอดไฟ LED มีระดับความเข้มแสงมากกว่าหลอด HID ในทุกระดับ เมื่อเปรียบเทียบแสงระดับที่ลึกที่สุดที่ 15 เมตร พบว่าหลอด HID มีค่าความเข้มแสงที่ 0.05 Lux ขณะที่หลอดไฟ LED มีความเข้มแสงที่ 0.19 Lux (มากขึ้น 280 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งเป็นผลมาจากมุมการกระจายแสง ที่แคบลง ลดการสูญเสียในอากาศทำให้แสงไฟจากหลอด LED สามารถผ่านลงสู่ระดับน้ำทะเลได้มากกว่าหลอด HID

6.2 พลังงานและผลการจับสัตว์น้ำ

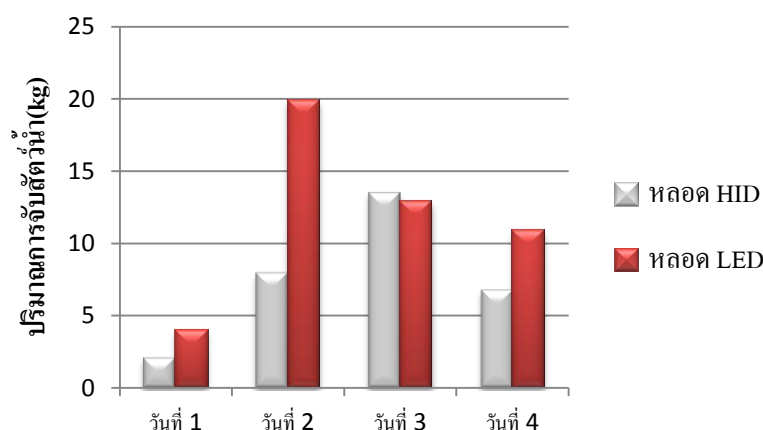
ตารางที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานและผลการจับสัตว์น้ำจากการทำประมงโดยใช้หลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED

	วันที่ 1		วันที่ 2		วันที่ 3		วันที่ 4	
	HID	LED	HID	LED	HID	LED	HID	LED
เวลาการทำประมงต่อวัน (hr)	2.00	2.00	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
น้ำมันที่ใช้(ลิตร)	3.95	1.89	10.92	6.57	11.28	6.91	10.58	6.24
จำนวนปลาหมึกที่ได้ (kg)	1.40	2.80	7.05	8.80	12.00	11.70	4.20	6.53
จำนวนปลาที่ได้(kg)	0.70	1.20	0.90	11.10	1.46	1.22	2.57	4.35
รวมจับปลาหมึก+ปลา (kg)	2.10	4.00	7.95	19.90	13.46	12.92	6.77	10.88



ภาพที่ 13 แสดงปริมาณการใช้น้ำมันระหว่างการทำด้วยหลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED

ผลการตรวจวัดน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เครื่องยนต์เรือขับไดนาโม พบว่า การทำประมงจากหลอดไฟ HID ที่มีโวลต์แสงสว่าง 6.7 กิโลวัตต์ จะใช้ปริมาณน้ำมันดีเซลมากกว่า การทำประมงจากหลอดไฟ LED ที่มีโวลต์แสงสว่าง 1.1 กิโลวัตต์ ซึ่งการใช้หลอด HID จะใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 2.37 ลิตรต่อชั่วโมง ขณะที่การใช้หลอดไฟ LED จะใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 1.39 ลิตรต่อชั่วโมง (ลดลง 41 เปอร์เซ็นต์) เนื่องจากอัตราการใช้น้ำมันจะแปรผันตามโวลต์ทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง



ภาพที่ 14 แสดงปริมาณการจับสแตว์น้ำระหว่างการทำด้วยหลอดไฟ HID และหลอดไฟ LED

ผลการจับสแตว์น้ำจากการทำประมงด้วยหลอด LED พบว่า มีอัตราการจับสแตว์น้ำปริมาณมากกว่าการทำประมงด้วยหลอด HID โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการจับสแตว์น้ำ พบว่า การใช้หลอด HID เพื่อทำประมงจะสามารถจับสแตว์น้ำได้เฉลี่ยวันละ 7.56 กิโลกรัม จำแนกเป็น ปลาหมึก 6.16 กิโลกรัม และปลา 1.40 กิโลกรัม ขณะที่การใช้หลอด LED มีปริมาณการจับสแตว์น้ำเฉลี่ยวันละ 11.91 กิโลกรัม (เพิ่มขึ้น 57 เปอร์เซ็นต์) จำแนกเป็น ปลาหมึก 7.45 กิโลกรัม (เพิ่มขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์) และปลา 4.46 กิโลกรัม (เพิ่มขึ้น 218 เปอร์เซ็นต์)

7. สรุปผลการวิจัย

จากการใช้หลอด LED ทดแทน หลอด HID ในการทดลอง พบว่า ถึงแม้จะมีการแพร่กระจายแสงในแนวระนาบปริมาณจะมีไม่มากแต่ลำแสงไฟที่พุ่งในแนวดิ่งมีมากกว่า เป็นผลให้สามารถล่อสแตว์น้ำได้มากกว่าวิธีเดิมเฉลี่ย 57 เปอร์เซ็นต์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณของปลาหมึกที่เพิ่มขึ้น ในด้านของการใช้พลังงานน้ำมัน พบว่า อัตราการใช้ น้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เครื่องยนต์เรือขับเคลื่อนด้วยหลอดไฟ HID ใช้ น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 2.37 ลิตรต่อชั่วโมง ขณะที่หลอดไฟ LED ใช้ น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 1.39 ลิตรต่อชั่วโมง ทำให้ลดการใช้ น้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าได้ 41 เปอร์เซ็นต์

8. การอภิปรายผล

จากผลการวิจัย พบว่า การทำประมงโดยใช้แสงไฟจากหลอด LED ที่กระจายแสงในแนวระนาบรัศมีไม่มาก สามารถเพิ่มอัตราการจับสแตว์น้ำได้เมื่อเทียบกับการทำประมงด้วยหลอด HID ที่มีการกระจายแสงในแนวระนาบรัศมีเป็นวงกว้าง ถึง 57 เปอร์เซ็นต์ สาเหตุเนื่องจากสแตว์น้ำสามารถเข้าใกล้ลู่ลำเรือได้มากขึ้น โดยสามารถประหยัดการใช้ น้ำมันได้ 41 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยที่ว่า การลดความเข้มแสงไฟนอกจากจะทำให้สแตว์น้ำเข้าใกล้ลู่ลำเรือมากขึ้น ซึ่งน่าจะส่งผลให้มีผลจับดีขึ้นและยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการทำประมงด้วยแสงไฟลงอีกด้วย (กมลพันธุ์ อวยวานนท์, 2551) แต่อย่างไรก็ตามความเข้มของแสงไฟที่ลงสู่ในแนวดิ่งได้มากขึ้นอาจส่งผลให้เพิ่มอัตราการจับสแตว์น้ำได้เช่นกัน

9. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้พบว่า ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลต้องมีการเก็บข้อมูลในหลายช่วงฤดูกาล เนื่องจากสัตว์น้ำอาจมีพฤติกรรมการหาอาหารที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาล

10. รายการอ้างอิง

- กมลพันธ์ อัยวานนท์. 2551. ความเหมือนและต่างกันของเรตินาปลากระดูกกับเรตินาหมึกกล้วย, **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46**. 243-251. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล. 2543 “อวนครอบ (Falling Nets).” **เครื่องมือทำการประมง(Fishing Gears)ฉบับ 416** 2543, 7 กันยายน 2558, <http://www.fishtech.mju.ac.th/e-learning/FM416/document/บทที่ 9.pdf>
- ศูนย์สารสนเทศ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2557 สถิติเรือประมงไทย ปี 2555. : กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์เศรษฐกิจประมง กรมประมง
- แหล่งเรียนรู้ด้านประมง. 2010 “การทำประมงโดยใช้แสงไฟล่อสัตว์น้ำ (Luring Light Fishing).” 2010, Retrieved July 20, 2015, from <http://www.aquatoyou.com/index.php/2013-04-29-06-56-31/621-luring-light-fishing>
- Breder, C.M. and F. Halpern. 1946. “Innate and Acquired Behavior Affecting the Aggregation of Fishes.” **Physio. Zool.** (19) : 154-190.
- Breder, C.M.Jr. 1967. On the survival value of fish schools. *Zoologica*. (52). 25-40.
- Li Tian Hua and Jing Xing. 2013. “Research on LED Fishing Light”, **Engineering and Technology** 5(16). 4138-4141. : Maxwell Scientific Organization
- Marinerthai. 2010 “อวนครอบ (Falling Nets).” **Thai Fishing Ship Knowledge Center**. Retrieved October 4, 2015, from <http://marinerthai.blogspot.com/2012/01/falling-nets.html>

**การศึกษาวิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะมีโหลดที่
สภาวะการทำงานจริงโดยการใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน**

**THE STUDY EVALUATED THE EFFICIENCY OF THREE-PHASE
INDUCTION MOTOR AS A LOAD TO THE ACTUAL WORKING
CONDITIONS BY USING BASIC MEASURING TOOLS**

วีระ ตูทธิสิงห์

**นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม**

E-mail: thongw87@gmail.com

กิริติ ชยะกุลศิริ

**รองศาสตราจารย์ ผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ มหบัณฑิตสาขาวิศวกรรมพลังงาน
และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศรีปทุม**

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

วิชกร เสงศรีวัช

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

E-mail: Vichakorn.he@spu.ac.th

เพชร นันทิวัฒนา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

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

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอแนวทางการศึกษาการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่อยู่ในสภาวะการทำงานจริงซึ่งประกอบด้วย วิธีการประเมินจากค่าไคล และวิธีการประเมินจากค่ากระแส โดยในการประเมินทั้งสองรูปแบบจะใช้เครื่องมือวัดพื้นฐานในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบ ในการศึกษาจะใช้การทดสอบขนาดมอเตอร์ 1.5 kW, 11 kW และ 30 kW ในห้องปฏิบัติการที่สามารถวัดประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยวิธีวัดแรงบิดที่เพลลาในการอ้างอิง จากการศึกษาแบบการประเมินประสิทธิภาพที่สภาวะการทำงานจริงของมอเตอร์ทั้งสองรูปแบบพบว่าแบบที่มีความเหมาะสมในการใช้ประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ในสภาวะการทำงานที่ค่าตัวประกอบโหลดที่แตกต่างกันไป

คำสำคัญ : มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส, วิธีค่าไคล, วิธีการกระแส, การประเมินประสิทธิภาพที่สภาวะงานจริง

ABSTRACT

This research paper present the study of three-phase induction motor efficiency evaluation during on-site condition induction motor efficiency evaluation. Both methods require only basic electrical measuring equipments, which are, voltage, current, power, and speed. In the study 1.5kW, 11kW and 30kW motors were tested in the laboratory by shaft-torque method for reference. The study shown that both method are suitable for different motor operating condition

KEYWORDS : Three-phase induction motor, slip method, current method, on-site condition efficiency evaluation

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ โรงงานอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่ได้มีจำนวนมากขึ้นทั้งใหม่และเก่าต่างได้มีการนำเอามอเตอร์เหนี่ยวนำมาใช้งานในหลากหลายรูปแบบโดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 80%-90% ของมอเตอร์ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมปัจจุบันที่ใช้งานเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพราะหาซื้อง่าย ต้องการการบำรุงรักษาดำเนินการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์จึงสำคัญมาก เนื่องจากเป็นตัวต้นกำลังโดยแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อขับโหลดต่างๆ อย่างไรก็ดีตาม เมื่อติดตั้งมอเตอร์ไปแล้วการตรวจสอบตรวจวัดจึงมีความยุ่งยากมาก ต้องมีการถอดมอเตอร์ออกมาเพื่อวัดซึ่งโดยมากไม่สามารถที่จะทำได้เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมต้องเดินเครื่องการผลิตตลอดเวลา ในปัจจุบันยังไม่ได้มีการศึกษาข้อมูลผลประหยัดจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นตัวเลขที่ชัดเจน แต่อย่างไรก็ตาม มาตรการในการเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมาตรการที่สามารถช่วยประหยัดพลังงานได้สูงและภาครัฐได้ให้ความสำคัญและสนับสนุนซึ่งหากสามารถประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสที่หน้างานจริงโดยใช้เครื่องมือวัดพื้นฐาน และเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย ก็จะเป็นประโยชน์ในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ให้มีความชัดเจนและเป็นแนวทางที่เป็นที่ยอมรับในการคำนวณ โดยผู้ประกอบการที่ใช้มอเตอร์จะได้ประโยชน์ในการได้ทราบถึงแนวทางในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนมาตรการอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์ได้ชัดเจน รวมทั้งบริษัทจัดการพลังงาน (Energy Service Company; ESCO) จะได้มีแนวทางในการตรวจประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์แบบ 3 เฟส สำหรับประเมินการสนับสนุนการลงทุนมาตรการอนุรักษ์พลังงานในมอเตอร์ ดังนั้นจึงได้มีการเสนอวิธีในการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงาน ที่สามารถที่จะทำได้ขณะที่เครื่องยังทำงานอยู่หลายรูปแบบโดยมีความแม่นยำที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น ประเมินจากแรงบิดที่ช่องอากาศ วิธีแผ่นป้าย วิธีการค่าโกล วิธีการค่ากระแสและวิธีการวงจรสมมูล [1-5]

งานวิจัยนี้จึงได้เป็นการศึกษาวิเคราะห์วิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่สภาวะการทำงานจริงโดย วิธีค่าโกล และวิธีค่ากระแส น่าจะเหมาะสมกับการทำงานของมอเตอร์ที่สภาวะการทำงานจริง อย่างไรก็ตาม ควรมีแนวทางในการใช้งานอย่างไรจึงจะมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ซึ่งจากการศึกษาทดลองเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่า การประเมินประสิทธิภาพด้วย

วิธีค่ากระแสจะมีความแม่นยำในกรณีที่มอเตอร์ทำงานเกิน 60% ของพิกัดขึ้นไป ส่วนการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีค่าไถลจะมีความแม่นยำกว่าในกรณีที่มอเตอร์ทำงานต่ำกว่า 60% ของพิกัด

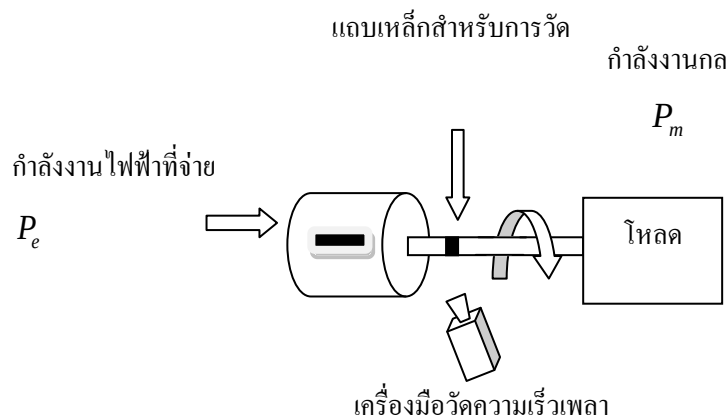
2. การประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์

2.1 วิธีการหาค่าตามแผ่นป้าย (Name plate method)

วิธีการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีข้อมูลจากแผ่นป้ายนี้ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดสะดวกที่สุดจะใช้ค่าที่ทางผู้ผลิตได้กำหนดมาในแผ่นป้าย เพื่อหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้โดยเป็นการถือว่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่าคงที่ตลอด ตามที่ผู้ผลิตระบุไว้บนแผ่นป้าย ซึ่งวิธีนี้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง

2.2 วิธีการค่าไถล (Slip method)

เป็นวิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความเร็วรอบของมอเตอร์กับความเร็วที่พิกัดของมอเตอร์ (Rate Speed) ที่มีความแม่นยำกว่าวิธีหาค่าตามแผ่นป้าย โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบจริงและการใช้สมการพื้นฐานในการคำนวณหาความเร็วรอบที่เพลา ดังสมการที่ (1) โดยการตรวจวัดดังแสดงภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 การตรวจจับวัดความเร็วรอบเพลาเพื่อหาค่าไถลของมอเตอร์

$$P_m = \frac{S}{S_{rated}} \times P_m^{rated} \quad (1)$$

เมื่อ
$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

และ
$$S_{rated} = \frac{n_s - n_r^{rated}}{n_s}$$

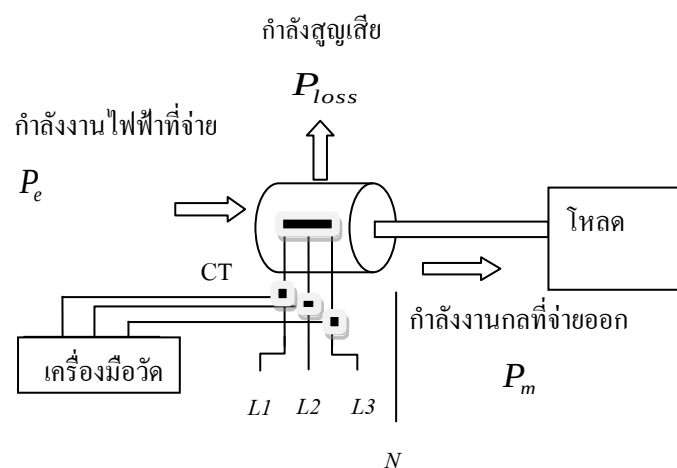
จากนั้นนำค่าที่ได้ประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตามสมการที่ (2)

$$\eta = \frac{P_m}{P_e} \times 100 \% \quad (2)$$

โดยที่	P_e	คือ กำลังงานไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้ามอเตอร์ (W)
	P_m	คือ กำลังงานกลที่เพลามอเตอร์ (W)
	n_s	คือ ความเร็วซิงโครนัสมอเตอร์ (รอบต่อนาที, rpm)
	n_r	คือ ความเร็วรอบของมอเตอร์ทำงาน (รอบต่อนาที, rpm)
	n_r^{rated}	คือ ความเร็วรอบพิกัดของมอเตอร์ (รอบต่อนาที, rpm)
	S	คือ ค่าโกลที่วัดได้
	S_{rated}	คือ ค่าโกลที่พิกัดของมอเตอร์
	η	คือ ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)

2.3 วิธีการค่ากระแส (Current method)

วิธีการค่ากระแสเป็นวิธีการหาค่าลัดพุดของมอเตอร์ โดยใช้เครื่องมือวัดคล่องขณะที่ยังทำงานอยู่ได้ โดยใช้หลักการที่ว่า กำลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์จ่ายจะแปรผันตรงกับค่าของกระแสที่มอเตอร์โดยหาได้จากสมการที่ (3) และการตรวจวัดจะใช้เครื่องมือที่อ่านค่าได้ ดังแสดงภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 การวัดค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

$$P_m = \frac{I}{I_{rated}} \times P_m^{rated} \quad (3)$$

จากนั้น นำค่าที่ได้ประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตามสมการที่ (2)

โดยที่	I_{rated}	คือ กระแสพิกัดมอเตอร์ (A)
	I	คือ กระแสที่วัดได้ (A)
	P_m^{rated}	คือ พิกัดกำลังงานกลของมอเตอร์ (W)

จากสมการนี้ จะมีค่าคาดเคลื่อนสูงมากเนื่องจากที่สมการคำนวณเป็นสมการเส้นตรง แต่ในความเป็นจริงกระแสกับกำลังเอาต์พุตไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน จึงมีการปรับปรุงสมการให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดโดยนำกระแส No-load เข้ามาพิจารณา ดังสมการที่ (4)

$$P_m = \frac{I - I_{nl}}{I_{rated} - I_{nl}} \times P_m^{rated} \quad (4)$$

โดยที่ I_{nl} คือ กระแสขณะไม่มีโหลด(A)
 P_m^{rated} คือ พิกัดกำลังงานกลของมอเตอร์ (W)

2.4 วิธีการวัดกำลังงานที่เพล่า ในห้องปฏิบัติการ

การหาค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพล่า เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและแม่นยำที่สุด เพราะได้ค่ากำลังงานที่เพล่าจากการวัดโดยตรง และการหาประสิทธิภาพวิธีนี้จำเป็นต้องวัดความเร็วรอบมาด้วยวิธีนี้ นิยมทำในห้องปฏิบัติการ ดังสมการที่ (5)

$$P_m = T \times \omega \quad (5)$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N}{60} \quad (6)$$

โดยที่ ω คือ ความเร็วรอบเชิงมุม (rad. / sec)
 T คือ แรงบิดที่เพล่า (N-m)

จากนั้นนำค่า P_m ไปประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตามสมการที่ (2)

จากวิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1-2.4 นั้นจะเห็นว่า วิธีการในหัวข้อที่ 2.4 เป็นวิธีหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่แม่นยำที่สุด แต่ต้องนำมอเตอร์ไปทดสอบในห้องปฏิบัติการและนอกจากนี้การใช้งานของมอเตอร์อาจจะต่างจากสภาวะในห้องปฏิบัติการได้ และโดยมากจะไม่ทราบค่ากำลังงานกลที่มอเตอร์จ่ายแก่โหลดในสภาวะจริง

ดังนั้น วิธีการในหัวข้อที่ 2.2 และ 2.3 จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการใช้ประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ เห็นยวน่าที่สภาวะการทำงานจริง อย่างไรก็ตาม วิธีการทั้ง 2 นี้ยังไม่ได้มีการศึกษาในเชิงลึก เพื่อให้เกิดข้อแนะนำในการใช้งานที่เหมาะสม ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเป็นการมุ่งเน้นการศึกษาวเคราะห์แนวทางการนำวิธีทั้ง 2 วิธีมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ ประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เห็นยวน่าที่สภาวะการทำงานจริง

3. การเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลนี้ได้ทำการทดสอบมอเตอร์เห็นยวน่า 3 เฟสที่ห้ทำงานจริง ในการเก็บข้อมูลจะใช้มอเตอร์อยู่ 3 ขนาดคือ 1.5 kW, 11 kW และ 30 kW เนื่องจากห้องทดสอบที่ใช้สามารถทดสอบมอเตอร์ได้ขนาดสูงสุดได้ 30kW และในมอเตอร์ขนาดเล็กกว่า 1.5 kW โดยมากจะเป็นมอเตอร์ที่ติดตั้งมาพร้อมอุปกรณ์จึงไม่ได้

นำมาศึกษา โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบมอเตอร์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล ด้วยวิธีการวัดกำลังงานกลที่มอเตอร์จ่าย จากการวัดแรงบิดที่เพลานำมาศึกษา โดยแสดงข้อมูลได้ดังตาราง 1-6 ในการทดสอบประสิทธิภาพมอเตอร์ได้ใช้การทดสอบตามมาตรฐาน IEEE-112 และ IEC60034 ซึ่งผลลัพธ์ค่าประสิทธิภาพที่ได้ถือว่าเชื่อถือได้และใช้ในการอ้างอิงวิธีการที่ศึกษา

ตาราง 1 ข้อมูลคุณลักษณะของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบขนาด 1.5 kW

Information	Value	Unit	Name plate figure
Rated Voltage	380	V	
Rated Current	3.4	A	
Rated Power Output	1.5	kW	
Power Factor	0.82	Lagging	
Speed at Rated	1430	Rpm	
Number of pole	4	Pole	
Efficiency	81.74	%	Maximum Torque 10.02 N-m

ตาราง 2 แสดงข้อมูลคุณลักษณะของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบขนาด 11 kW

Information	Value	Unit	Name plate figure
Rated Voltage	380	V	
Rated Current	21.73	A	
Rated Power Output	11	kW	
Power Factor	-	Lagging	
Speed at Rated	1460	Rpm	
Number of pole	4	Pole	
Efficiency	NA	%	Maximum Torque 72 N-m

ตาราง 3 แสดงข้อมูลคุณลักษณะของมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบขนาด 30 kW

Information	Value	Unit	Name plate figure
Rated Voltage	400	V	
Rated Current	56	A	
Rated Power Output	30	kW	
Power Factor	0.85	Lagging	
Speed at Rated	1470	RPM	
Number of pole	4	Pole	
Efficiency	90.97	%	Maximum Torque 195 N-m

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบมอเตอร์ในหัวข้อที่ 3 ได้นำมาวิเคราะห์ตามวิธีในหัวข้อที่ 2.2 และ 2.3 สามารถแสดงได้ดังตาราง 4-6 และแสดงค่าประสิทธิภาพที่สภาวะการทำงานต่างๆ ของมอเตอร์ ดังภาพประกอบ 3-5

ตาราง 4 แสดงข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการค่าโกลและค่ากระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1.5 kW

Actual Load (%)	Loading Point (%)	Eff. Test Conditions (%)	Slip Method สมการที่ (1) และ(2)		Current Method สมการที่ (3) และ(2)		Modified Current Method สมการที่ (4) และ(2)	
			Eff. (%)	Error (%)	Eff. (%)	Error (%)	Eff. (%)	Error (%)
4.20	1	36.90	25.21	11.69	487.89	-450.99	504.58	-467.68
15.60	2	71.00	51.95	19.05	255.35	-184.35	264.76	-193.76
20.80	3	78.00	53.57	24.43	213.97	-135.97	221.85	-143.85
29.07	4	79.20	54.55	24.65	162.83	-83.63	169.26	-90.06
44.40	5	83.20	56.25	26.95	123.53	-40.33	127.43	-44.23
48.40	6	85.50	60.50	25.00	117.82	-32.32	121.85	-36.35
61.60	7	86.30	60.08	26.22	103.90	-17.60	107.46	-21.16
71.47	8	85.80	63.43	22.37	95.29	-9.49	98.80	-13.00
79.53	9	85.80	61.66	24.14	91.09	-5.29	94.69	-8.89
92.40	10	87.10	61.99	25.11	86.57	0.53	90.22	-3.12
101.00	11	85.60	64.16	21.44	84.00	1.60	87.76	-2.16

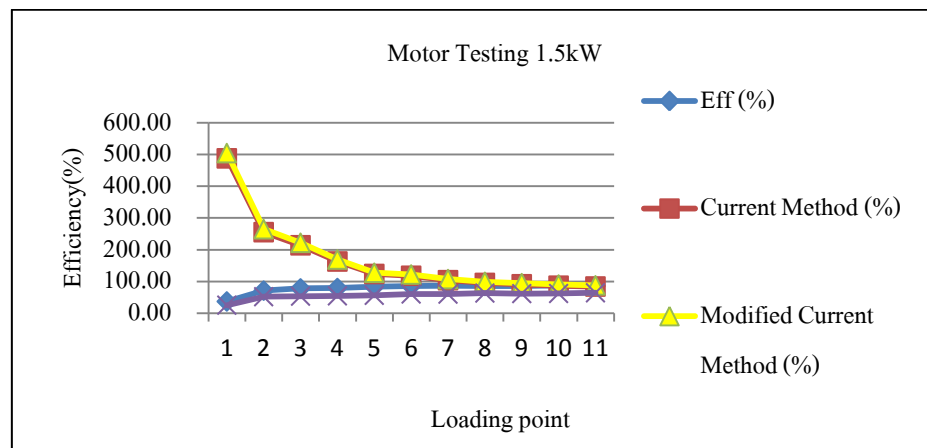
ตาราง 5 แสดงข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการค่าโกลและค่ากระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 11 kW

Actual Load (%)	Loading point (%)	Eff. Test Conditions (%)	Slip Method สมการที่ (1) และ(2)		Current Method สมการที่ (3) และ(2)		Modified Current Method สมการที่ (4) และ(2)	
			Eff. (%)	Error (%)	Eff. (%)	Error (%)	Eff. (%)	Error (%)
3.27	1	26.32	40.15	-13.83	380.58	-354.26	391.60	-365.28
9.64	2	54.53	56.41	-1.88	269.98	-215.45	277.08	-222.55
20.45	3	71.10	69.62	1.48	171.41	-100.31	175.02	-103.92
33.45	4	78.61	70.51	8.10	131.96	-53.35	134.39	-55.78
42.27	5	82.88	83.19	-0.31	118.90	-36.02	120.15	-37.27
51.82	6	85.32	78.10	7.22	110.47	-25.15	111.35	-26.03
62.91	7	88.44	80.78	7.66	104.73	-16.29	105.01	-16.57
70.00	8	89.15	92.41	-3.26	101.48	-12.33	101.21	-12.06
82.55	9	91.29	85.68	5.61	99.21	-7.92	98.69	-7.40
85.82	10	91.38	85.11	6.27	98.89	-7.51	97.85	-6.47
101.36	11	91.45	81.15	10.30	96.68	-5.23	95.66	-4.21

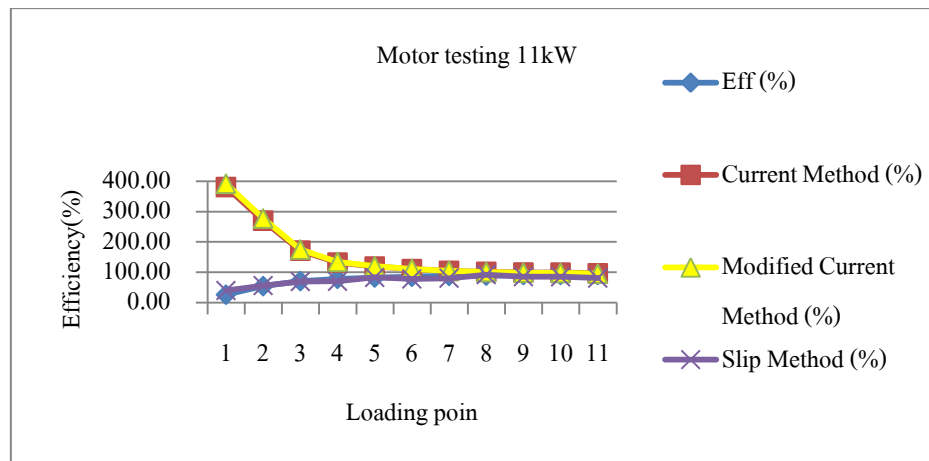
ตาราง 6 แสดงข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการค่าไถลและค่ากระแสมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 30 kW

Actual Load (%)	Loading point (%)	Eff. Test Conditions (%)	Slip Method สมการที่ (1) และ(2)		Current Method สมการที่ (3) และ(2)		Modified Current Method สมการที่ (4) และ(2)	
			Eff. (%)	Error (%)	Eff. (%)	Error (%)	Eff. (%)	Error (%)
1.47	1	20.57	0.00	20.57	543.99	-523.42	531.75	-511.18
10.23	2	63.13	61.66	1.47	249.96	-186.83	242.46	-179.33
20.60	3	86.87	56.19	30.68	182.11	-95.24	174.82	-87.95
30.30	4	87.11	67.05	20.06	140.09	-52.98	133.08	-45.97
40.70	5	87.83	57.54	30.29	123.68	-35.85	117.50	-29.67
47.80	6	89.37	68.56	20.81	116.53	-27.16	110.71	-21.34
55.97	7	90.10	80.52	9.58	113.30	-23.20	107.63	-17.53
71.87	8	90.27	75.36	14.91	104.52	-14.25	97.99	-7.72
78.53	9	90.18	72.72	17.46	97.81	-7.63	91.69	-1.51
88.30	10	90.38	68.24	22.14	93.95	-3.57	88.08	2.30
98.63	11	90.56	61.21	29.35	93.13	-2.57	87.08	3.48

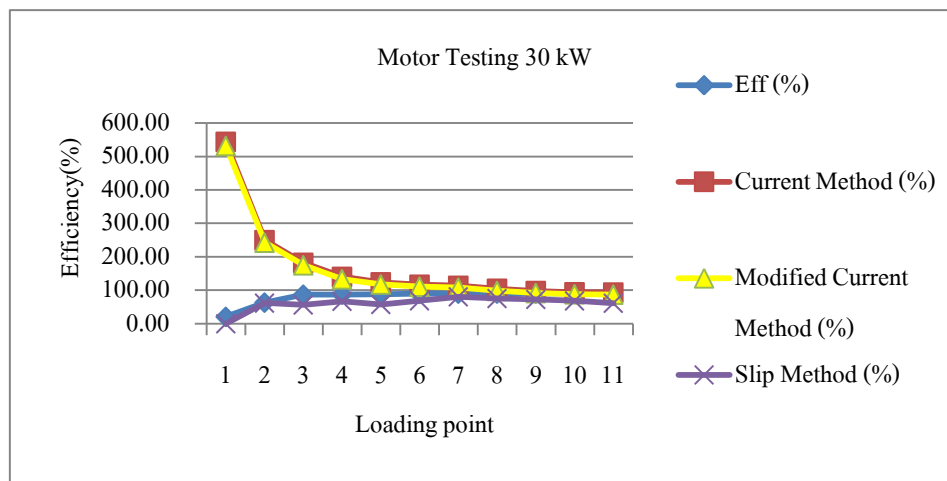
จากข้อมูลการบันทึกในตารางที่ 4-6 นำมาพล็อตกราฟเพื่อหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ดังกล่าวประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1.5 kW



ภาพประกอบ 4 กราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 11 kW



ภาพประกอบ 5 กราฟแสดงประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 30 kW

จากข้อมูลที่ศึกษามาจะเห็นได้ว่าเมื่อนำค่าที่ได้จากการบันทึกข้อมูลจากหน้างานนำมาพล็อตกราฟดังภาพประกอบ 3-5 แล้วในช่วงไม่เกิน 60% สามารถใช้วิธี การประเมินโหลดหาประสิทธิภาพมอเตอร์ได้ใกล้เคียงกว่าวิธี การประเมินค่ากระแส ส่วนกรณีมอเตอร์ทำงานเกินกว่า 60% ขึ้นไป วิธีกระแสจะใกล้เคียงกว่าวิธีการประเมินค่าโหลดและวิธีค่ากระแสที่มีการปรับปรุงตามสมการที่ (4) จะให้ผลการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ดีกว่าวิธีค่ากระแส

ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้วิธีการประเมินประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่สภาวะการทำงานจริง ด้วยวิธีการค่าโหลด และวิธีการค่ากระแส จึงขึ้นอยู่กับโหลด (Load Factor) ที่มอเตอร์ทำงานอยู่โดยสามารถใช้แนวทางดังต่อไปนี้

- 1) ทำการตรวจวัดค่ากระแส, แรงดัน, ความเร็วรอบและกำลังไฟฟ้าจริงของมอเตอร์
- 2) ประเมินค่าตัวประกอบโหลดของมอเตอร์ว่าอยู่ในช่วงใดจากค่ากระแสคือ

$$LF = \frac{I}{I_{rated}} \times 100 \%$$

เมื่อ LF คือค่าตัวประกอบโหลดของมอเตอร์ (%)

3) ถ้า $LF > 60\%$ ให้ประเมินประสิทธิภาพตามวิธีการในสมการที่ (3) และสมการที่ (2)

4) ถ้า $LF \leq 60\%$ ให้ประเมินประสิทธิภาพตามวิธีการในสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

5. สรุปการทดลอง

การทดสอบ จะเห็นว่าเมื่อสตาร์ทมอเตอร์วิธีการค่าโกลในช่วง 10%-60% จะมีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ เนื่องจากวิธีค่าโกลกำลังไฟฟ้าเอาท์พุตจะแปรผันตามกับค่าความเร็วที่เพลาหมุน ส่วนวิธีการค่ากระแสในช่วงสตาร์ทประสิทธิภาพจะกระโดดควบคุมไม่ได้และหลังจาก 60% ขึ้นไปเมื่อมอเตอร์อยู่ในสภาวะคงที่ประสิทธิภาพจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากห้องปฏิบัติการ เป็นเพราะว่าวิธีการค่ากระแสกำลังเอาท์พุตแปรผันตรงกับค่ากระแส จากผลการทดสอบจะใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบและปรับปรุงประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ได้ติดตั้งใช้งานไปแล้ว เพื่อที่จะได้ใช้พลังงานให้คุ้มค่าและประหยัดมากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- Phumiphak, T. and Chat - uthai, C. 2002, Oct. "Estimation of Induction Motor Parameters Based on Field Test Coupled with Genetic Algorithm." Proceedings of 2002 International Conference on Power System Technology, Power Con 2002. (2), 1199-1203. Kunming, China.
- Hsu, J. S. and Scoggins, B. P. 1995, September, "Field test of motor efficiency and load changes through air-gap torque." **IEEE Trans. Energy Conversion**, 10(3), 471-477.
- Falkner, H. 2000, November, "Promoting High Efficiency Motors in Europe: The role of the Copper Industry." ETSU. European Copper Institute, 13.
- The U.S. Department of Energy. n.d. "Electric Motor Determining Load and Efficiency." Fact Sheet, Available Online: www.motor.doe.gov.
- Gastli, A. 1999, March. "Identification of Induction Motor Equivalent Circuit Parameters Using the Single-Phase test." **IEEE Transactions on Energy Conv.** 14(1), 51-56.

**การประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานบนพื้นฐานประวัติข้อมูล
พฤติกรรมทางพลังงานของสถานประกอบการ
ENERGY CONSERVATION POTENTIAL ESTIMATION BASED ON
HISTORICAL ENERGY BEHAVIORAL DATA
OF THE ORGANIZATION**

ชลธิศ เอี่ยมวรฤทธิกุล

ทวีศักดิ์ อินทโชติ

อมตะ ทักษณภักดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

Email : chonlathis.ei@spu.ac.th

บทคัดย่อ

พฤติกรรมทางด้านพลังงานของสถานประกอบการอุตสาหกรรมการผลิต ได้ถูกวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางในการประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นกรอบในการกำหนดนโยบายและมาตรการดำเนินงาน ในการจัดการพลังงานขององค์กร การศึกษามีจุดประสงค์เพื่อลดปัญหาข้อจำกัดในการอ้างอิงเกณฑ์มาตรฐาน หรือดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะจากภายนอก ในการเปรียบเทียบและประเมินสมรรถนะด้านพลังงานขององค์กร เนื่องจากความแตกต่างของลักษณะกระบวนการในการดำเนินงาน ถึงแม้จะอยู่ในกลุ่มธุรกิจอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน การศึกษาได้ใช้ข้อมูลพลังงานและปริมาณการผลิตรอบ 12 เดือน เพื่อเป็นตัวอย่างกรณีศึกษาจากโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง โดยได้วิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ปริมาณผลิตภัณฑ์ (kg) และ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kWh/kg) เพื่อกำหนดแนวทางการคำนวณศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งอยู่บนพื้นฐานประวัติข้อมูลของสถานประกอบการเอง แทนการอ้างอิงจากเกณฑ์ข้อมูลเผยแพร่จากภายนอก ที่มีลักษณะกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นได้กำหนดค่า Base Energy Ratio และ SEC Approach Ratio เป็นค่าตัวแปรช่วยในการชี้บ่งสมรรถนะการใช้พลังงาน และการพิจารณากลยุทธ์ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ชัดเจนขึ้น

คำสำคัญ : ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ, อนุรักษ์พลังงาน, ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน, การจัดการพลังงาน

ABSTRACT

Energy behaviors in a manufacturing factory are analyzed in order to provide a guideline for estimation of energy conservation potential. The potential of energy saving is essential as a framework for designing policy and proper activities in energy management procedure. The objective of this study is to

mitigate a problem using published standardized energy performance indices as reference for comparison with those of the organization. The limitation is due to the differences in various operation processes, although the reference data are from the same type of manufacturing products. The investigation are conducted based on monthly energy and corresponding product quantity for 12 months from a frozen seafood factory as a case study. In-depth analysis is carried out on correlation among electrical energy usage (kWh), production amount (kg), and Specific Energy Consumption (kWh/kg). The purpose is to provide a means to estimate proper energy saving potential from organization's own reference energy behavioral data instead of standardized reference indices from outside, which does not necessary have the same operation processes. In addition, two performance parameters; Base Energy Ratio and SEC Approach Ratio, are introduced to help describe energy performance of the manufacturing operations. Accordingly, that will help to formulate better energy performance improvement strategy.

Keywords : Specific Energy Consumption, SEC, Energy Conservation, Energy Conservation Potential, Energy Management

1. บทนำ

การดำเนินการจัดการพลังงานของสถานประกอบการ เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง จำเป็นต้องมีการติดตามข้อมูลประวัติการใช้พลังงานและวิเคราะห์สมรรถนะการใช้พลังงานขององค์กร ดังที่ได้อธิบายไว้ในข้อกำหนดเรื่องการวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ตามข้อกำหนดในกฎกระทรวงด้านการจัดการพลังงาน [1-4] หรือในระบบการจัดการพลังงานตามมาตรฐานสากล ISO50001:2011 ในส่วนของ Energy Review ซึ่งระบุให้องค์กรต้องมีการกำหนดดัชนีชี้วัด เพื่อใช้ในการติดตามประเมินสมรรถนะด้านพลังงานขององค์กร ที่จะสามารถนำมาวิเคราะห์ในการกำหนดนโยบาย และแนวทางการดำเนินงานการจัดการพลังงาน โดยค่าดัชนีสมรรถนะด้านพลังงานที่นิยมใช้ในระดับสากล [5-6] โดยเฉพาะสำหรับในอุตสาหกรรมการผลิต คือค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ หรือ Specific Energy Consumption (SEC)

ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) เป็นการระบุถึงสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้ ต่อหน่วยปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน (เช่น หน่วยผลิตภัณฑ์ วัตถุดิบ หรือ กิจกรรมดำเนินการต่างๆ)

$$\text{ดัชนีพลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาณพลังงาน}}{\text{หน่วยผลิตภัณฑ์}}$$

โดยปริมาณพลังงานที่ใช้อาจเป็นพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า หรือเป็นค่าพลังงานเทียบเท่าจากแหล่งพลังงานหลายชนิดเข้าด้วยกัน ในหน่วยพลังงานความร้อน (MJ) หรือ ปริมาณน้ำมันดิบเทียบเท่า (tons of oil equivalent, toe) เป็นต้น สำหรับปริมาณการผลิตที่ใช้ในการคำนวณ จะใช้หน่วยผลิตที่เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลของปริมาณการใช้พลังงานขององค์กร ซึ่งอาจเป็น จำนวนชิ้นหรือปริมาณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำหนักของ

วัตถุดิบที่ใช้ เป็นต้น โดยสถานประกอบการสามารถพิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบการผลิตที่เป็นอยู่

การวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต บนพื้นฐานของ ข้อมูลรายปีของการใช้พลังงาน ปริมาณการผลิต และ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ได้มีการศึกษาอธิบายไว้อย่างกว้างขวางควบคู่กันกับการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานขึ้นมาใช้ โดยได้อธิบายไว้ในคู่มือการพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน [7] และได้ใช้แนวทางเดียวกันนี้ในข้อกำหนดของกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม [3] จนถึงปัจจุบัน ที่สถานประกอบการโรงงานและอาคารควบคุม ต้องบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานขององค์กรและจัดทำรายงานการจัดการพลังงาน ส่งแก่กระทรวงพลังงานเป็นประจำทุกปี

การวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมด้านพลังงานตามแนวทางที่แนะนำในข้อกำหนดนั้น เป็นการวิเคราะห์ในภาพรวม เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ และ ค่าเฉลี่ยของดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของทั้งองค์กร สำหรับการติดตามเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นจากการดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละรอบปี โดยได้แนะนำในเบื้องต้นถึงการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดยการเปรียบเทียบค่า SEC จากค่า Best Practice หรือค่าอ้างอิง ของกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทเดียวกัน ซึ่งทางกระทรวงพลังงานโดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ทำการศึกษาค่าเกณฑ์การใช้พลังงาน ของกลุ่มอุตสาหกรรมและอาคาร ในช่วงปี พ.ศ. 2547 – 2551 เป็นกลุ่มอุตสาหกรรม 10 ประเภท (กลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร สิ่งทอ เหล็ก พลาสติก อิเล็กทรอนิกส์ ปิโตรเคมี อโลหะ ยางและผลิตภัณฑ์ยาง เชื้อกระดาและกระดา ยไม้และเครื่องเรือน และประเภทกลุ่มอาคารศูนย์การค้า โรงพยาบาล สำนักงาน โรงแรม) โดยผลที่ได้ยังมีปัญหาถึงความหลากหลายของกระบวนการผลิต หรือการดำเนินงานในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน ทำให้ข้อมูลที่ได้มาไม่สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบอ้างอิงระหว่างสถานประกอบการได้ ดังอธิบายไว้ในรายงานโครงการศึกษาแนวทางและกลไกเพื่อการจัดทำค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) ของภาคอุตสาหกรรม [8] ซึ่งผลการศึกษาได้แนะนำกลไกจัดทำค่า SEC ตามลักษณะกระบวนการผลิตย่อย เพื่อให้สามารถใช้ SEC ที่สามารถใช้อ้างอิงได้ระหว่างสถานประกอบการ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยังไม่ได้มีการศึกษาเผยแพร่ในปัจจุบัน

งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้มีการศึกษา เพื่อกำหนดแนวทางในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของสถานประกอบการที่จะสามารถนำมาใช้ในการดำเนินการจัดการพลังงาน การศึกษาเพื่อการเฝ้าระวังติดตามโดยใช้แนวทาง Statistical Process Control หรือการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานสะสมที่เป็นค่า Cumulative Summation (CUSUM) เพื่อให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะการใช้พลังงานที่จะนำมาประกอบการดำเนินการควบคุมติดตาม โดยได้รายงานไว้ในงานวิจัย [9-10] การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปริมาณการใช้พลังงานเนื่องจากปัจจัยต่างๆบนพื้นฐานของสมการถดถอย (regression) จากประวัติข้อมูลของสถานประกอบการกรณีศึกษา ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางเช่นกัน [12-13] อย่างไรก็ตามผลที่ได้มักถูกจำกัดเฉพาะสำหรับสถานประกอบการที่ใช้ในการศึกษาเท่านั้น การศึกษาถึงศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานโดยการเปรียบเทียบค่าอ้างอิงจากกระบวนการผลิตนั้นๆซึ่งที่มีลักษณะคล้ายกันได้อธิบายไว้ในงานวิจัย [14] สำหรับการวิเคราะห์

ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการขนส่ง ที่มีลักษณะการดำเนินงานที่หลากหลาย ได้ถูกนำเสนอแนวทางการประเมินไว้ในงานวิจัยของผู้เขียน [11]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นจะเห็นว่าการศึกษาค้นคว้าส่วนใหญ่เป็นการวิเคราะห์ การหาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน และการติดตามเฝ้าระวังพฤติกรรมการใช้พลังงานหรือการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต โดยยังไม่มีการระบุถึงแนวทางการประเมินศักยภาพหรือกรอบที่เหมาะสมในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งการประเมินโดยใช้ค่า Best Practice หรือค่าอ้างอิงสมรรถนะด้านพลังงาน (เช่น ค่า SEC) จากภายนอก ถึงแม้จะมาจากกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน แต่มีข้อจำกัดถึงความแตกต่างของกระบวนการดำเนินงานที่ต่างกันระหว่างสถานประกอบการ จึงเป็นการยากที่จะเกิดความน่าเชื่อถือในการเปรียบเทียบได้โดยตรง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ เพื่อศึกษากำหนดแนวทางการอธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานและประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ของสถานประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิต โดยใช้ข้อมูลประวัติการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตของสถานประกอบการเอง ที่ได้มีการบันทึกและรายงานแก่กระทรวงพลังงาน ตามข้อกำหนดเป็นประจำปีอยู่เป็นประจำแล้ว เพื่อให้เป็นคำดัชนีชี้วัดและกรอบในการพิจารณา มาตรการการดำเนินงานการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้โดยสะดวก

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2-1 เพื่อศึกษาอธิบายพฤติกรรมทางด้านพลังงานในกระบวนการผลิต จากข้อมูลประวัติการใช้พลังงานรายปีของสถานประกอบการ

2-2 เพื่อบ่งชี้แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จากข้อมูลพฤติกรรมทางพลังงานของกระบวนการผลิต

2-3 เพื่อกำหนดวิธีการในการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานบนพื้นฐานของประวัติข้อมูลด้านพลังงานของสถานประกอบการเอง

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3-1 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตของสถานประกอบการกรณีศึกษา 1 แห่ง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็ง โดยใช้ข้อมูลในรอบ 12 เดือน (มกราคม ถึง ธันวาคม) ของปี 2555

3-2 ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงาน จัดทำดัชนีชี้บ่งที่สามารถสะท้อนสมรรถนะการใช้พลังงานและกำหนดแนวทางศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน บนพื้นฐานของประวัติข้อมูลรายปีที่มีอยู่

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมในการผลิตอาหารทะเลแช่แข็งนั้นส่วนใหญ่เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการแช่แข็ง ซึ่งต้องมีการใช้เครื่องทำความเย็นตลอดเวลาเพื่อรักษาอุณหภูมิของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ตลอดกระบวนการผลิต นอกเหนือจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนอื่นๆ เช่น ในเครื่องจักร ระบบสายพานการผลิต การปรับอากาศ แสงสว่าง และอุปกรณ์ในสำนักงานต่างๆ โดยสถานประกอบการได้มีการ

บันทึกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิต ซึ่งระบุเป็นปริมาณน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ต่อเนื่องเป็นรายเดือน โดยนำมาใช้ในการคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption หรือ SEC) เพื่อติดตามสมรรถนะการใช้พลังงานตามแนวทางการจัดการพลังงานตามข้อกำหนด โดยข้อมูลเหล่านี้ของสถานประกอบการซึ่งเป็นโรงงานควบคุม จะต้องรายงานในรายงานการจัดการพลังงานแก่กระทรวงพลังงานเป็นประจำทุกปี ดังนั้นงานวิจัยนี้จะได้นำข้อมูลที่ทางสถานประกอบการมีอยู่ มาวิเคราะห์ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4-1 รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในรายงานการจัดการพลังงานประจำปี พ.ศ. 2555 ของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมประมาณ 35.5 ล้านหน่วย (kWh) และ ปริมาณผลิตรวมเป็นน้ำหนักผลิตภัณฑ์ประมาณ 17.7 ล้านกิโลกรัมต่อปี

4-2 จัดทำรายการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) และปริมาณการผลิต (kg) เป็นรายเดือน และคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ตามสมการ

$$SEC = \frac{kWh}{kg}$$

โดย kWh = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายเดือนเป็นหน่วยไฟฟ้า
kg = ปริมาณน้ำหนักผลิตภัณฑ์ในการผลิตรายเดือน

4-3 สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล ปริมาณพลังงานและปริมาณผลิตภัณฑ์ โดยใช้สมการถดถอย (regression) ซึ่งเส้นในลักษณะ $y = ax + b$ ซึ่งจะสามารถจัดรูปสมการเพื่อหาความสัมพันธ์ของ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ กับ ปริมาณผลิตภัณฑ์

$$kWh = a(kg) + b$$

$$SEC = \frac{kWh}{kg} = a + \frac{b}{kg}$$

โดย a และ b คือค่าคงที่ของสมการเชิงเส้น ได้จากสมการถดถอยของข้อมูลระหว่าง ปริมาณพลังงาน (kWh) และ ปริมาณผลิตภัณฑ์ (kg)

4-4 วิเคราะห์พฤติกรรมทางด้านพลังงานจากความสัมพันธ์ของข้อมูล ทำให้สามารถกำหนดค่าตัวแปร Base Energy Ratio (R_{BE}) และ SEC Approach Ratio (R_{SA}) เพื่อเป็นดัชนีช่วยในการอธิบายถึงลักษณะพฤติกรรมการใช้พลังงาน ได้คือ

$$R_{BE} = b/kWh_{avg}$$

$$R_{SA} = a/SEC_{avg}$$

โดย kWh_{avg} = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อเดือน

SEC_{avg} = ค่าเฉลี่ยทั้งปีของ Specific Energy Consumption

ซึ่งค่า Base Energy Ratio แสดงสัดส่วนค่าพลังงานคงที่ ที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิตต่อปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน และ ค่า SEC Approach Ratio ที่เป็นค่าสัดส่วนของค่า SEC ต่ำสุดที่เป็นไปได้เมื่อปริมาณการผลิตสูงมากๆ ต่อค่าเฉลี่ยของ SEC ที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถสะท้อนการควบคุมปริมาณการใช้พลังงานต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณการผลิต ดังที่จะอธิบายในส่วนแสดงผลการศึกษา

4-5 ประเมิน “ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน” จากข้อมูลพฤติกรรมพลังงานข้างต้น ได้กำหนดให้ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน คือปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพที่จะสามารถลดลงได้ หากกระบวนการผลิตมีค่า SEC คงที่ ที่ค่าเฉลี่ยที่ดีที่สุด (มีค่าน้อยที่สุด) ตลอดช่วงปริมาณการผลิต ซึ่งมักเกิดขึ้นเมื่อปริมาณการผลิตสูงสุด โดยจะสามารถคำนวณกลับ เป็นปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพในการลดลงได้ในแต่ละเดือนตามปริมาณการผลิตที่เกิดขึ้น ซึ่งจะได้ผลรวมของทุกเดือนเป็นปริมาณพลังงานรวมทั้งหมดที่มีโอกาสลดลงได้

การดำเนินงานวิเคราะห์ข้อมูลตามกระบวนการข้างต้น จากข้อมูลประวัติการใช้พลังงานของสถานประกอบการ สามารถสรุปแนวทางการอธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานของกระบวนการผลิต การประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน และ แนวทางในการปรับปรุง ได้ตามจุดประสงค์ของงานวิจัย

5. ผลการวิจัย

สถานประกอบการ โรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้มีการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตของโรงผลิต 3 โรงที่มีอยู่ (Plant 1, Plant 2, และ Plant 3) แยกจากกัน แต่โดยปกติแล้วการวิเคราะห์และรายงานผล จะเป็นปริมาณรวมของทั้งองค์กร อีกทั้งไม่ได้แยกส่วนประเภทการใช้งาน เช่น ประเภทกระบวนการผลิต การใช้สำนักงานหรือการผลิต ฯลฯ โดยสำหรับโรงงานของสถานประกอบการในกรณีศึกษานี้ ข้อมูลพลังงาน ปริมาณการผลิต และ ค่า SEC รายเดือนประจำปี 2555 รวมของทุกโรงผลิต (All Plants) ได้แสดงในตารางที่ 1

จากตารางข้อมูลพบว่าสถานประกอบการมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตลอดปี พ.ศ. 2555 เท่ากับ 35,560,248 kWh และมีปริมาณการผลิตที่ 17,699,665 kg (หรือเฉลี่ย 2,963,354 kWh/เดือน และ 1,474,972 kg/เดือน) ซึ่งถือว่าเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงมากแห่งหนึ่ง โดยมีมูลค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าประมาณ 1 ร้อยล้านบาทต่อปี เมื่อเทียบสัดส่วนปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณผลิตกันแล้ว สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ได้เท่ากับ 2.009 kWh/kg

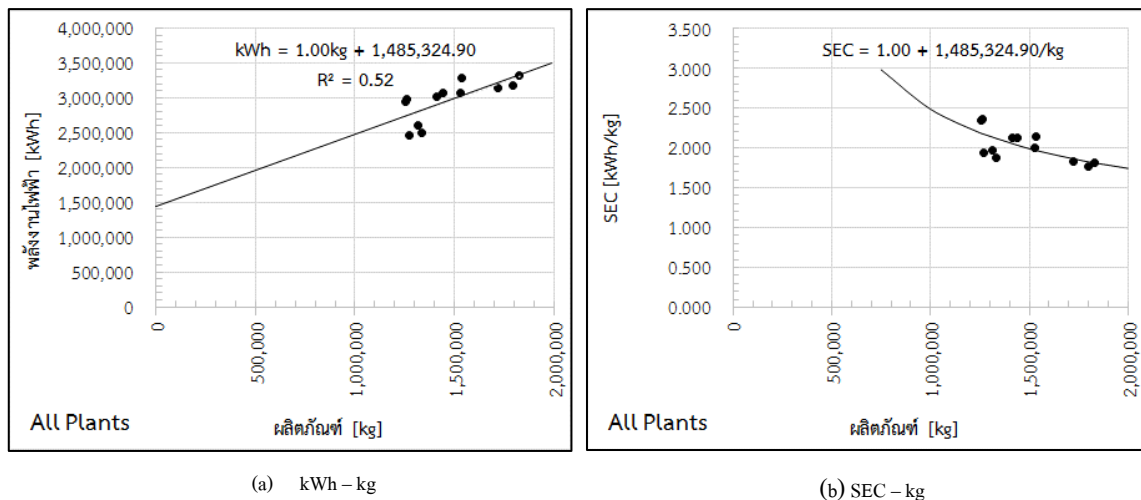
ตารางที่ 1 ข้อมูลรายปีของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตรวมของโรงงาน

เดือน	ปริมาณ	พลังงาน	ดัชนี
	ผลิตภัณฑ์	ไฟฟ้า	SEC
	[kg.]	[kWh]	[kWh/kg]
ม.ค.-55	1,270,194	2,464,232	1.940
ก.พ.-55	1,261,412	2,985,502	2.367
มี.ค.-55	1,535,456	3,283,771	2.139
เม.ย.-55	1,315,449	2,598,231	1.975
พ.ค.-55	1,828,707	3,318,336	1.815
มิ.ย.-55	1,721,034	3,148,750	1.830
ก.ค.-55	1,796,357	3,172,149	1.766
ส.ค.-55	1,254,934	2,943,743	2.346
ก.ย.-55	1,528,604	3,065,126	2.005
ต.ค.-55	1,441,312	3,076,260	2.134
พ.ย.-55	1,413,183	3,008,909	2.129
ธ.ค.-55	1,333,023	2,495,239	1.872
รวม	17,699,665	35,560,248	NA
เฉลี่ย	1,474,972	2,963,354	2.009

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ที่แปรผันตาม ปริมาณการผลิต (kg) ของสถานประกอบการ ได้นำเสนอตามรูปในภาพประกอบที่ 1(a) และ 1(b) โดยพบว่า ลักษณะพฤติกรรมการใช้พลังงานรายเดือนจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับปริมาณการผลิต ใน ภาพประกอบ 1(a) มีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผลิต เป็นไปตามแนวโน้มเชิงเส้นตามสมการดังนี้

$$y = ax + b$$

$$kWh = (1.00)kg + 1,485,324.90 \quad (1)$$



ภาพประกอบที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

(a) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า [kWh] กับ ปริมาณการผลิต [kg]

(b) ค่าดัชนีการใช้พลังงานเฉพาะ [SEC] กับ ปริมาณการผลิต [kg]

สมการที่ (1) ระบุได้ว่าหากโรงงานมีการใช้พลังงานที่ไม่ขึ้นกับปริมาณผลิต ซึ่งเป็นปริมาณพลังงานฐาน (Base Energy) เท่ากับค่าพลังงานที่จุดตัดแกนตั้ง $b = 1,485,324.90$ kWh (เมื่อค่า x หรือ $kg = 0$) หรือเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพลังงานเฉลี่ยรายเดือน เป็นค่า Base Energy Ratio ได้

$$R_{BE} = \frac{b}{kWh_{avg}} = \frac{1,485,324.90}{2,963,354} = 50.1\% \quad (2)$$

ซึ่งเป็นปริมาณสัดส่วนการใช้พลังงานคงที่ค่อนข้างสูงถึงครึ่งหนึ่งของปริมาณรวมที่ใช้ แต่ก็เป็ พฤติกรรมที่พบเห็นได้ทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง หรืออุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องมีการใช้ ระบบทำความเย็น ระบบปรับอากาศ รวมถึง กระบวนการผลิตที่มีการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ หรือ ระบบสนับสนุนอื่นๆ ที่มีความจำเป็นต้องรักษาการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ให้คงที่ตลอดเวลา ทำให้ต้องม การใช้พลังงานเหล่านี้ในปริมาณที่เกือบคงที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต

ข้อมูลค่าดัชนีการใช้พลังงานเฉพาะ (SEC) ในการผลิตมีค่าแปรเปลี่ยนลดลงไปตามปริมาณการผลิตที่ เพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 2.367 ถึง 1.766 kWh/kg ที่ปริมาณการผลิตต่ำที่สุดไปสูงที่สุด โดยสมการเส้นแนวโน้มของค่า SEC สามารถหาได้จากสมการที่ (1) โดยการหารตลอดด้วยปริมาณการผลิต

$$SEC = \frac{y}{x} = a + \frac{b}{x}$$

$$SEC = \frac{kWh}{kg} = 1.00 + \frac{1,485,324.90}{kg} \quad (3)$$

ซึ่งมีลักษณะของสมการ hyperbolic ที่ค่า SEC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วสู่ infinity เมื่อปริมาณการผลิตน้อยลง แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อค่าปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นสูง ค่า SEC เข้าสู่ limit (SEC_{lim}) ที่ค่า a หรือซึ่งเป็นค่าความชันของสมการพลังงานไฟฟ้า โดยหากกำหนดให้สัดส่วนระหว่างค่า limit ของ SEC ที่เป็นไปได้ กับค่า SEC เฉลี่ย (SEC_{avg}) จากข้อมูลการใช้พลังงาน เป็นค่า SEC Approach Ratio คือ

$$R_{SA} = \frac{SEC_{lim}}{SEC_{avg}} = \frac{a}{SEC_{avg}} = \frac{1.00}{2.009} = 0.499 \quad (4)$$

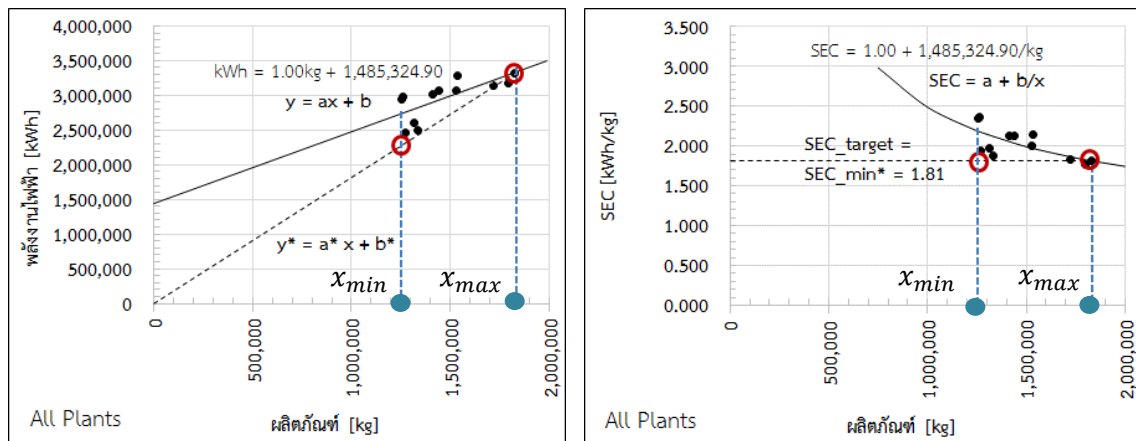
ซึ่งเป็นดัชนีบ่งบอกพฤติกรรมในการผลิต ที่สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิตได้มากน้อยแค่ไหน โดย

- หากค่า R_{SA} มีค่าน้อยมากๆ แสดงว่า แทบไม่ได้มีการปรับลดกำลังการผลิตของกระบวนการผลิต หรือกำลังเครื่องจักรเมื่อปริมาณที่ต้องการผลิตลดลง ส่งผลให้ภาระการผลิตเป็นสัดส่วนที่ต่ำเทียบกับขนาดเต็มกำลังของกระบวนการ
- หากค่า R_{SA} มีค่าสูงขึ้นเข้าใกล้ค่า 1.00 แสดงว่าการดำเนินงานในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการควบคุมกำลังการผลิตของกระบวนการให้มีกาปรับเพิ่มลดให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิต ส่งผลให้เกิดการผลิตเต็มกำลังตลอดเวลา

การติดตามสมรรถนะการใช้พลังงานของสถานประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิต สามารถวิเคราะห์อธิบายผลได้ตามแนวทางข้างต้น การระบุศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อใช้เป็นกรอบในการกำหนดมาตรการและการตัดสินใจเชิงนโยบาย อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ระหว่างสถานประกอบการกันโดยตรง ถึงแม้จะอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน ก็ยังคงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากรายละเอียดในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ตลอดจนข้อจำกัดในการเปิดเผยข้อมูลระหว่างกัน ดังนั้นเพื่อเป็นการกำหนดศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของสถานประกอบการ จึงควร ประเมินวิเคราะห์จากข้อมูลประวัติพฤติกรรมการใช้พลังงานของสถานประกอบการเอง

จากข้อมูลการใช้พลังงานและกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณการผลิตและค่า SEC ระบุได้ว่า โรงงานมีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าต่ำที่สุดหรือดีที่สุด (SEC_{min}^*) ที่ปริมาณการผลิตสูงสุด (x_{max}) ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2(a) และ 2(b)

“ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน” ของโรงงานบนพื้นฐานของข้อมูลลักษณะการใช้พลังงานการผลิต อาจสามารถกำหนดได้โดยหากโรงงานสามารถปรับปรุงหรือควบคุมกระบวนการผลิตให้มีปริมาณการใช้พลังงาน (kWh) เพิ่ม-ลดตามสัดส่วนของปริมาณการผลิต (kg) เช่น การปรับลดสายการผลิต หรือ การปรับกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์การผลิต เป็นต้น จนกระทั่งสามารถรักษาค่า SEC ไว้ที่ค่าเป้าหมาย SEC_{target} โดยกรณีนี้ให้เท่ากับค่า SEC_{min}^* ตลอดช่วงการผลิตใดๆ ดังที่ระบุเป็นไปตามแนวเส้นไขปลาดังรูป



(a) kWh - kg

(b) SEC - kg

ภาพประกอบที่ 2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ความสัมพันธ์ระหว่าง

- (a) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเป้าหมาย กับ ปริมาณการผลิต
- (b) ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเป้าหมาย กับ ปริมาณการผลิต

ดังนั้นเมื่อคำนวณกลับหาค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยกำหนดให้เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเป้าหมาย (kWh^*) ที่ปริมาณการผลิตใดๆ ได้จากสมการ

$$kWh^* = (SEC_{target})kg \quad (5)$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรง ดังที่ระบุเป็นเส้นไขปลาในภาพประกอบที่ 2(a)

$$y^* = a^*x + b^* \quad (6)$$

โดยที่

$$\text{ค่าความชัน} \quad a^* = SEC_{target} = \text{ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเป้าหมาย}$$

$$\text{ค่าจุดตัดแกนตั้ง} \quad b^* = 0$$

สมการเชิงเส้นของพลังงานไฟฟ้าเป้าหมายกับปริมาณการผลิต มีจุดตัดแกนตั้งที่ค่าเป็นศูนย์เสมอ ดังที่ได้แสดงตามเส้นไขปลาในภาพประกอบ 2(a) ซึ่งก็เป็นจริงที่ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะเป้าหมาย SEC_{target} ใดๆ ที่ให้เป็นค่าคงที่โดยไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต

ดังนั้น ค่าศักยภาพการใช้พลังงานที่ลดลง สามารถประเมินได้จากค่าความแตกต่างของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงจากข้อมูลประวัติการใช้พลังงานในแต่ละเดือน กับ ค่าพลังงานเป้าหมาย (kWh^*) ที่คำนวณได้จากสมการที่ค่าปริมาณการผลิต (kg) เดียวกัน ซึ่งค่าศักยภาพปริมาณพลังงานที่สามารถอนุรักษ์ได้ผลรวมทั้งช่วงเวลาที่พิจารณา ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ n ในรอบปี ดังสมการ

$$\Delta Energy_{potential} = \sum_{i=1}^n (kWh - kWh^*) \quad (7)$$

โดยเมื่อนำมาคำนวณศักยภาพพลังงานที่ลดลงทั้ง 12 เดือนตามข้อมูลของโรงงานผลิตดังแสดงในตารางที่ 1 ประเมินได้ว่าค่าศักยภาพพลังงานรวมที่สามารถอนุรักษ์ได้เท่ากับ 3,447,271 kWh หรือ คิดเป็น 9.7% ของปริมาณการใช้พลังงานรวม โดยได้สรุปค่าตัวแปรที่ได้ใช้อธิบายสมรรถนะทางพลังงานต่างๆไว้ในตารางที่ 2

จากแนวทางการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานและศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน ของกระบวนการผลิตกรณีศึกษา นี้ สามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงสมรรถนะการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น ตามศักยภาพที่ประเมินไว้สามารถแนะนำการดำเนินการได้ดังนี้คือ

- จัดแบ่งย่อยกระบวนการการผลิต เช่น การจัดสายการผลิตให้มีขนาดกำลังผลิตน้อยลงแต่มีจำนวนมากขึ้น ที่จะสามารถวางแผนการผลิตให้มีลำดับขั้น การใช้จำนวนสายการผลิตที่สามารถมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณผลิตที่ต้องการ
- จัดการผลิตให้มีปริมาณการผลิตเต็มกำลังของแต่ละกระบวนการย่อย หรือสายการผลิตย่อยที่เปิดใช้ หรือ การใช้อุปกรณ์ปรับ เพิ่ม-ลด อัตรากำลังของเครื่องจักรในการผลิตให้สอดคล้องกับปริมาณการผลิตที่ต้องการ

ตารางที่ 2 สรุปข้อมูลดัชนีสมรรถนะด้านพลังงาน

รายการ			All Plants
1	ปริมาณพลังงานรวม	[kWh]	35,560,248
		[%]	100.0%
2	ปริมาณการผลิตรวม	[kg]	17,699,665
		[%]	100.0%
3	ดัชนีพลังงานจำเพาะเฉลี่ย (SEC_{avg})	[kWh/kg]	2.009
4	ปริมาณพลังงานเฉลี่ยต่อเดือน	kWh _{avg}	2,963,354
5	ค่าคงที่ความสัมพันธ์ $y = a x + b$	a	1.0021
		b	1,485,325
6	Base Energy Ratio (R_{BE})	[b/kWh _{avg}]	50.1%
7	SEC Approach Ratio (R_{SA})	[a/SEC _{avg}]	0.499
8	ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน	[kWh]	3,447,271
		[%]	9.7%

6. สรุป

งานวิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล การใช้พลังงาน ปริมาณการผลิต และ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ เพื่อเสนอแนวทางในการอธิบายพฤติกรรมทางด้านพลังงานและแนวทางในการปรับปรุงที่สืบเนื่องมาจากลักษณะกระบวนการผลิตที่เป็นอยู่ของสถานประกอบการ รวมถึงการกำหนดวิธีการประเมินศักยภาพในการลดปริมาณพลังงานในกระบวนการผลิตจากการปรับปรุง โดยได้ใช้ข้อมูลของโรงงานผลิตอาหารทะเลแช่แข็งเป็นกรณีศึกษา โดยได้พบว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ปริมาณพลังงานและปริมาณผลิตภัณฑ์ มีค่าคงที่ ความชันและจุดตัดแกนตั้งที่สามารถนำมากำหนดเป็นดัชนี Base Energy Ration และ SEC Approach Ratio ซึ่งสะท้อนลักษณะกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้พลังงานขององค์กร โดยสามารถนำมาพิจารณา กำหนดแนวทางในการปรับปรุงได้ โดยมีกรอบศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน หรือ ปริมาณพลังงานที่สามารถลดได้ เมื่อค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะมาค่าคงที่ที่ค่าดีที่สุด (น้อยที่สุด) จากประวัติการดำเนินงานในรอบปีที่ผ่านมา ซึ่งสามารถทำได้โดยการบริหารจัดการวางแผนหรือควบคุมเครื่องจักรอุปกรณ์ให้มีกำลังกระบวนการผลิตที่มีการเพิ่ม-ลด จนกระทั่งมีการใช้เต็มกำลัง (full capacity) สอดคล้องตามปริมาณการผลิตที่ต้องการตลอดเวลา การประเมินพฤติกรรมและศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานตามแนวทางที่เสนอในงานวิจัยนี้ จะสามารถนำไปใช้สำหรับกระบวนการอื่นๆ ได้ โดยไม่จำกัดเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง เมื่อสถานประกอบการมีข้อมูลการใช้พลังงาน และปริมาณหน่วยผลิตภัณฑ์ที่เป็นปัจจัยของการใช้พลังงาน ซึ่งวิธีการนี้สถานประกอบการจะสามารถดำเนินการวิเคราะห์ได้จากพื้นฐานประวัติข้อมูลที่มีอยู่ ที่สามารถให้แนวทางที่สอดคล้องกับลักษณะการดำเนินงานขององค์กร และลดความคลุมเครือจากการใช้เกณฑ์มาตรฐานอ้างอิงจากภายนอก ในการตัดสินใจดำเนินงานตามระบบการจัดการพลังงาน

7. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาเพิ่มเติมในแนวทางเดียวกันนี้สำหรับสถานประกอบการ ที่มีกระบวนการผลิตต่างๆ มีความจำเป็นเพื่อให้ได้ผลการวิจัยที่ชัดเจนขึ้น และสามารถเป็นฐานข้อมูลสำหรับกระบวนการผลิต หรือกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆต่อไปได้ รวมถึงการขยายผลไปยังกลุ่มการใช้พลังงานในอาคารและกระบวนการขนส่งต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552. ให้ไว้ ณ วันที่ 25 มิถุนายน พ.ศ. 2552. รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน.
- คู่มือการพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, กันยายน 2547.
- ชลธิศ เอี่ยมวรวิฑูริกุล, พ.ศ. 2556, “สมรรถนะของกระบวนการขนส่งในมุมมองจากข้อมูลดัชนีการใช้เชื้อเพลิง”, การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 8 วันที่ 24 ธันวาคม 2556, มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ไชยะ เข้มช้อย, พ.ศ. 2554. การใช้เทคนิค SPC กับงานการจัดการพลังงาน. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด.

ธีรพงศ์ ห่อสิวลัย, อมตะ ทศนภักดิ์, พ.ศ. 2557 “การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในสถานพยาบาล กรณีศึกษาโรงพยาบาลพญาไท 2”, การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 9 วันที่ 16 ธันวาคม 2557, มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บุญญารัตน์ แสงปิยะ, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แซ่มซ้อย, พ.ศ. 2554, “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานควบคุม,” วารสารวิจัยพลังงาน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีดำเนินการจัดการพลังงาน ในโรงงานควบคุมและอาคาร ควบคุม พ.ศ. 2552, ประกาศ ณ วันที่ 25 เดือน กันยายน พ.ศ. 2552, รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535

พัชรมาศ นุ่มดี, จันทนา จันทโร และ ไชยะ แซ่มซ้อย, พ.ศ. 2554, “การจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่ม อุตสาหกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (TSIC 31) อุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) อุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) และ อุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35)”, วารสารวิจัยพลังงาน. คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายงาน “โครงการศึกษาแนวทางและกลไกเพื่อการจัดทำค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) ของภาคอุตสาหกรรม”, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน 2557.

เอนก หีบสัมฤทธิ์ พ.ศ. 2536. “การวิเคราะห์พลังงานในโรงงานทำน้ำแข็งซอง,” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

G.J.M. Phylipsen. 2010. “Energy Efficiency Indicators Best Practice and Potential use in Developing Country Policy Making,” the World Bank.

International Energy Agency (IEA), Development of Energy Efficiency Indicators in Russia, 2011.

การศึกษาการลดเชื้อจุลินทรีย์โดยพัลส์สนามไฟฟ้าสูง
STUDY ON MICROORGANISM ELIMINATION BY HIGH PULSES
ELECTRIC FIELD

จุฑา ลีเฉลิมวงศ์

นักศึกษาปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : sanya.kh@spu.ac.th

สัญญา คุ้มขาว

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์

บทคัดย่อ

การทำลายเชื้อจุลินทรีย์ด้วยพัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในอาหารเหลวที่มีองค์ประกอบของน้ำเพื่อเป็นการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ ด้วยการให้แรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรงแบบพัลส์กับขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้วที่วางซ้อนกันเป็นช่วงเวลาประมาณ 10 นาโนวินาที ถึง 20 ไมโครวินาที เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์มีค่าสูงทำให้เกิดรูพรุนเล็กๆจำนวนมากทำให้ผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ถูกทำลาย ด้วยเหตุผลดังกล่าวถูกกำหนดเป็นเงื่อนไขการออกแบบวงจรที่ควบคุมทั้งความถี่ความกว้างพัลส์เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสูงที่ให้กับขั้วอิเล็กโทรด โดยที่แรงดันไฟฟ้าสูงกระแสตรงทำให้มีสนามไฟฟ้าสูงที่สม่ำเสมอในช่วงแรงดันประมาณ 20-30 กิโลโวลต์ต่อเซนติเมตรซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี จากผลการทดสอบกับของเหลวตัวอย่างที่เป็นน้ำคลองและน้ำนมดิบ ที่ระดับการกระตุ้นที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสูงที่ 45-50 โวลต์โดยมีระดับความถี่ที่ 20 กิโลเฮิรตซ์ พร้อมทั้งการปรับความกว้างของพัลส์ที่ 10% , 15% , และ 25% พบว่าสามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ ผลการนำเชื้อมาตรวจสอบด้วยแผ่น 3 เอ็มเพอร์ทริฟิล์มเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจำนวนจุดที่เกิดขึ้นของเชื้อก่อนและหลังการทดสอบที่มีจำนวนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: พลาสมา, อาร์คหลัก, แรงดันไฟฟ้าสูง, กระแสตรง

ABSTRACT

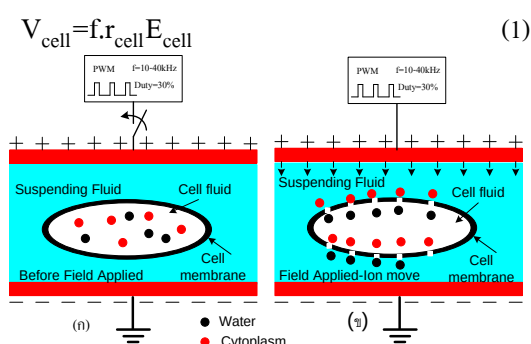
The antimicrobial agent with high-voltage pulse electric field to eliminate microorganisms contained in the liquid are composed of water to disrupt cell membranes. With a high voltage direct current pulse to the terminal electrode 2 terminal stack was about 10 nanoseconds to 20 microseconds, resulting in a voltage drop across the membrane is high pitting a small number of cell walls of microorganisms can be destroyed. For this

reason, it is defined as a condition circuit that controls the frequency and pulse width to control high voltage output to the terminal electrodes. The high voltage direct current electric field causes a highly stable voltage range of 20-30 kV/cm, which can inhibit the growth of microbes as well. The results of the test liquid samples with a water canal and raw milk. The level of stimulation at high voltage DC power at 45-50 volts, with a frequency of 20 kHz and a pulse width of 10%, 15%, and 25% were found to eliminate microorganisms. The test panels with 3M Perry's family film for the change in the number of infections that occur before and after the test has decreased significantly. The sterilization can be tested with a sheet 3 M Petrifilm™ is find a volume change of the number of infections that occur before and after the test has decreased significantly.

KEYWORDS : plasma, main arc, high voltage, constant current

1. ความสำคัญ

การประยุกต์ใช้พัลส์สนามไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าสูงได้มีบทบาทเข้ามาเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตของมนุษย์อย่างสูง อาทิเช่น ทางด้านการแพทย์ ทางด้านพันธุวิศวกรรมและทางด้านการถนอมอาหาร โดยที่พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นกระบวนการโดยไม่ใช้ความร้อน สามารถกระทำได้ในอุณหภูมิห้องและยังทำได้รวดเร็วซึ่งจะทำให้สามารถคงความสดและคุณภาพของอาหารได้ดีกว่ากระบวนการถนอมอาหารที่ใช้ความร้อน (sterilization) กับอาหารที่เป็นของเหลว (Hulsheger *et al.*, 1981) ที่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณภาพของสารอาหาร ดังนั้นเพื่อศึกษาการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์โดยทำการศึกษาดูแบบวงจรและชุดภาชนะทดสอบ กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวที่มีองค์ประกอบของน้ำ ด้วยการจ่ายพัลส์แรงดันสูงผ่านเข้าสู่ตัวอย่างเพื่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ด้วยการทำให้ผนังเซลล์นั้นถูกทำลายให้เป็นรูพรุน (Ho *at al.*, 2000) ดังภาพที่ 1 แสดงลักษณะของเซลล์ก่อนใช้พัลส์โดยศักย์แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเยื่อหุ้มเซลล์สามารถคำนวณได้จากสมการ



โดยที่

V_{cell} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ตกคร่อมที่เยื่อหุ้มเซลล์

f คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของเซลล์

r_{cell} คือ รัศมีวงนอกสุดของเยื่อหุ้มเซลล์

E_{cell} คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์

ภาพที่ 1 แสดงลักษณะของเซลล์ ก่อนและหลังการให้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง

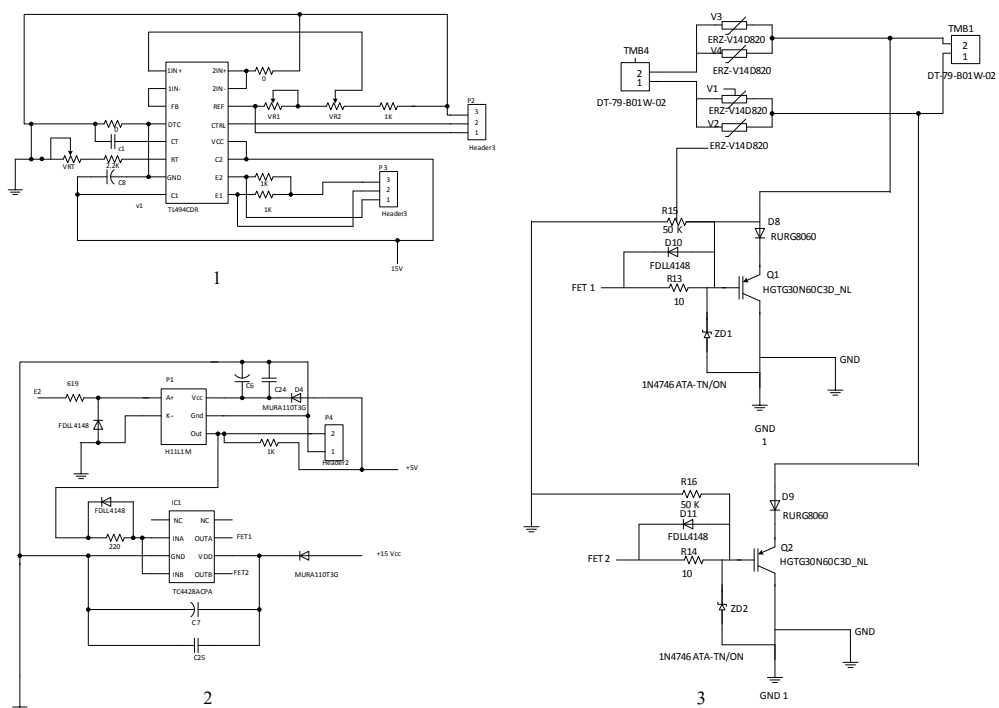
ในขณะที่เยื่อหุ้มเซลล์เกิดรูพรุนเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทระหว่างของเหลวภายนอกเซลล์กับไซโทพลาซึม (Cytoplasm) ซึ่งเป็นของเหลวภายในเซลล์ทำให้เซลล์เกิดการขยายตัวเพิ่มขึ้นนำไปสู่การเบรกดาวน์ของเยื่อหุ้มเซลล์อันเนื่องมาจากความเครียดของสนามไฟฟ้า ซึ่งรูพรุนที่เกิดขึ้นต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะนำไปสู่การตายของเซลล์ ซึ่งในการสร้างพัลส์สนามไฟฟ้าเพื่อมาเชื่อได้จากสมการ

$$E_{\text{cell}} = \frac{V}{r} \quad (2)$$

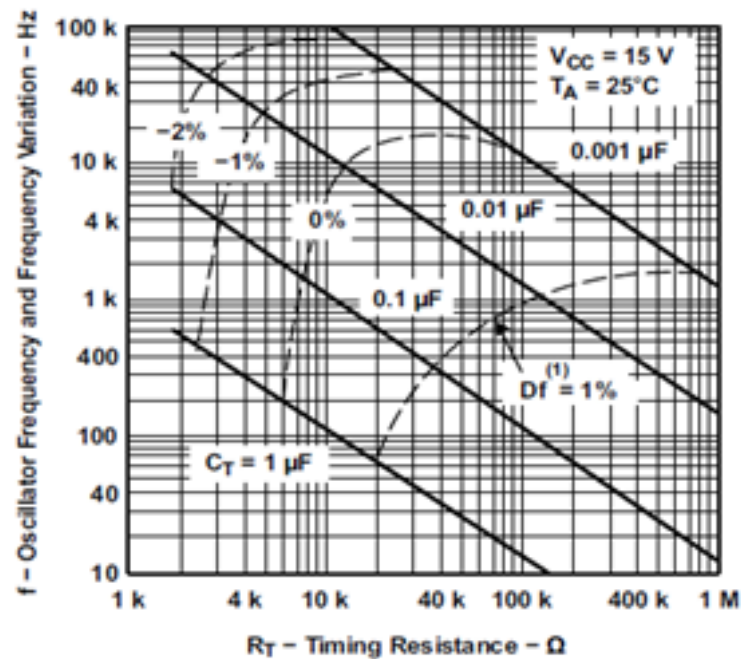
โดยที่ E_{cell} คือ ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์
 V คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่นำเข้า
 r คือ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด

2. หลักการออกแบบ

การออกแบบวงจรจะเป็นแหล่งจ่ายกำลังสวิตช์ซึ่งที่สามารถควบคุมได้ทั้ง ความถี่ ความกว้างพัลส์ และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จะกระตุ้นหม้อแปลงความถี่สูงและส่วนของวงจรป้องกัน โดยการแยกกราวด์ของวงจรสร้างสัญญาณ PWM ออกจากกราวด์ของวงจรที่ควบคุมส่วนอิเล็กทรอนิกส์กำลังออกจากกันเพื่อป้องกันการลัดของวงจร โดยที่ส่วนของวงจรสวิตช์จะอยู่ในรูปแบบวงจรรวมของไอซี ได้เลือกใช้โมดควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าเพื่อการออกแบบสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ของไอซี TL 494 ดังแสดงในภาพที่ 2(ก) การทำงานของวงจรภายในของไอซีได้นำหลักการโมดควบคุมจากแรงดันมาใช้งาน จะอาศัยการป้อนกลับค่าแรงดันเอาต์พุตและเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจร แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจร PWM จะมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม มีความยาวคงที่เท่ากับคาบเวลาแรงดันพินเลี้ยงและมีความกว้างตามการเปลี่ยนแปลงของการมอดูเลชันของค่าแรงดันที่เข้าสู่อุปกรณ์ PWM (วุฒิไกร และคณะ., 2553)



ภาพที่ 2 (ก) วงจรกำเนิดพัลส์ PWM และส่วนควบคุมกำลัง



ภาพที่ 2 (ข) การกำหนดความถี่จากตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

2.1 การคำนวณหาค่าเวลาคงที่ (Time Constant)

วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) นี้ได้เลือกใช้ที่ 20 kHz เหตุผลในการเลือกความถี่ในย่านนี้ เพื่อต้องการให้กระแสของหม้อแปลงมีริบเป็ลน้อย ซึ่งสามารถเลือกย่านความถี่ให้มีค่ามากกว่านี้ แต่ผลตามมามีสัญญาณรบกวนมาก ดังนั้น TL 494 สามารถเลือกค่าของ C_T และ ความต้านทาน R_T จากกราฟในภาพที่2(ข)

$$R_T = \frac{1.1}{f_{ocs} C_T} \quad (3)$$

โดยที่ R_T = ค่าความต้านทานปรับค่าได้ พิจารณาเลือกใช้ค่าความจุ $C_T = 0.01$ ไมโครฟารัด

$$R_T = \frac{1.1}{50 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6}} = 2.2 \text{ k}\Omega$$

จากภาพที่2(ก) สามารถจับสัญญาณเอาต์พุตที่ขาไอซี TL 494 ได้จากขา R_T และ C_T และยังปรับค่า Duty Cycle และ ความถี่ได้จากความต้านทานปรับค่าได้ V_{R3} จะได้สัญญาณเอาต์พุตของ TL 494 ดังภาพที่2 ซึ่งมีค่า Duty Cycle เป็น 79 % ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการปรับค่า Duty Cycle ให้เหมาะสมกับการทำงานของชุดอุปกรณ์กำลัง IGBT ที่ Duty Cycle 10% , 15% และ 25% เพื่อลดการทำงานของอุปกรณ์กำลัง(นิติพงศ์ และคณะ., 2554; พิมพ์พร และคณะ., 2555) จากสัญญาณ PWM ที่มีค่า Duty Cycle ในลำดับต่างๆที่ 10% , 15% , 25% เป็นการควบคุมกระแสซึ่งไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง Flyback Converter ดังนั้นการไหลของกระแสที่มากเกินไปพอจะส่งผลให้สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำกับขดลวดด้านทุติยภูมิที่มีศักดาแรงดันไฟฟ้าสูงเพียงพอต่อการนำเชื้อจุลินทรีย์

2.2 การออกแบบหม้อแปลงแรงดันสูงความถี่สูง

หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงจะทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำและเพิ่มระดับที่พิกัดหม้อแปลง $V_p = 50 \text{ V}$, $V_{out} = 19\text{-}30 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ kHz}$, $\Delta B_{ac} = 5000 \text{ G}$ พื้นที่หน้าตัดแกน (A_i) = 8.32 cm^2 คาบเวลาทั้งหมด $66 \mu\text{s}$ ที่ 50% เท่ากับ $33 \mu\text{s}$ ใช้แกน EE65 พื้นที่ของหน้าตัดแกน $A_c = 5.33 \text{ cm}^2$ โดยเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์รูปทรงตัว U หรือ C ใช้ในการคำนวณรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ(Primary)และด้านทุติยภูมิ(Secondary)โดยนำแกนทั้ง 2 มาประกอบกันดังแสดงในภาพที่ 3 (ข) คำนวณหารอบของขดลวดปฐมภูมิจาก

$$N_p = \frac{V_p \times 10^8}{4 B_{max} f A_i} = \frac{50 \times 10^8}{4 \times 5000 \times 50 \times 10^3 \times 8.32} = 1 \text{ รอบ}$$

เพราะฉะนั้นต้องพันทั้งหมด (1 รอบ/V) $\times 50 \text{ V} = 50 \text{ รอบ}$

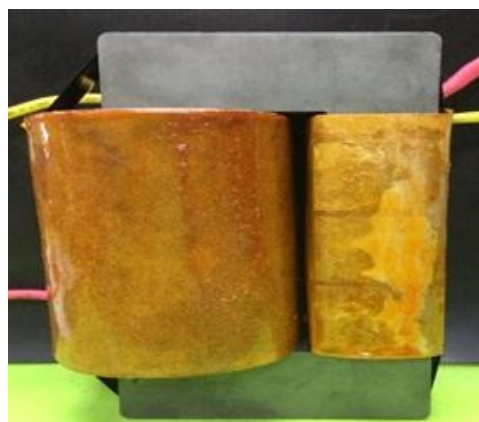
คำนวณหารอบของขดลวดด้านทุติยภูมิจากความสัมพันธ์ $\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_p}{I_s}$

$$N_s = \frac{V_s}{V_p} \times N_p = \frac{40 \times 10^3}{50} \times 1 = 800 \text{ รอบ}$$

ขนาดของขดลวดที่นำมาใช้กับหม้อแปลงความถี่ 20kHz คือเบอร์ AWG #23



(ก)



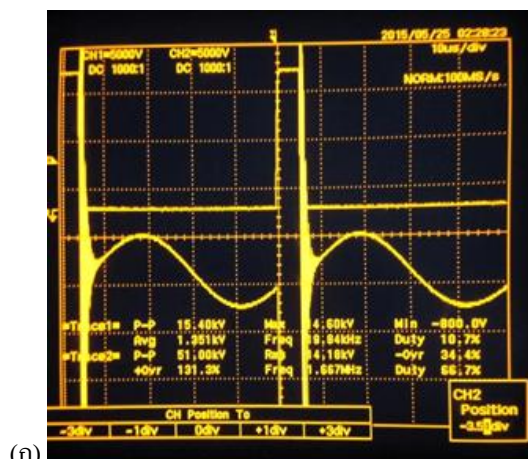
(ข)

ภาพที่ 3 (ก)วงจรควบคุมสัญญาณ PWM และ(ข)หม้อแปลงที่ความถี่สูง

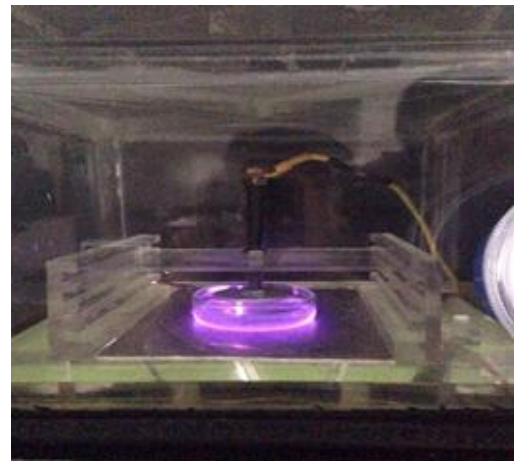
3. การทดลองและผลการทดลอง

การทดสอบสนามไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกระทำได้ด้วยการกระตุ้นจากวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ ที่ถูกขับกำลังไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงที่ขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว ที่เสมือนเป็นขั้วแอโนดและคาโทด เพื่อใช้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารเหลวและน้ำจากคลองบางบัว โดยมีขั้นตอนการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz ที่ Duty Cycle 15% และ 25% ตามลำดับ ดังแสดงตามภาพที่ 4 พร้อมทั้งการดูดอากาศจากภายในให้มีความดันสูญญากาศเท่ากับ 0 พาสกาล จากนั้นทำการเจือก๊าซไตรเจนเล็กน้อยเพื่อให้เกิดบรรยากาศบางๆของก๊าซไนโตรเจนซึ่งจะเป็นกาพลัสสนามไฟฟ้าแรงดันสูงกระตุ้นให้เกิดการแตกตัวของก๊าซเป็นสภาพของพลาสมา ด้วยการปรับแรงดันอินพุตจาก

ช่วง 10-50 โวลต์ โดยมีค่าแสดงตามตารางที่ 1 นำไปใส่ที่ภายในภาชนะโครงสร้างภาชนะเป็นแผ่นอะคริลิกหนา เพื่อป้องกันการแตกจากแรงกดอากาศ ทำการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz ทำการปรับ Duty Cycle ที่ 25% นั้นจะเป็น การเพิ่มขนาดของแรงดันเอาต์พุต และกระแสที่ไหลผ่านเส้นลวดที่สูงมากดังแสดงตามตารางที่ 1 ซึ่งการเกิด พลาสมาที่สนามไฟฟ้าความเข้มสูงจะแสดงออกมาเป็นสีม่วงที่บริเวณแก้วไฟเร็กสระหว่างขั้วอิเล็กโตรดทั้งสอง (สัญญา.,2014)ดังแสดงตามภาพที่ 4



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) สัญญาณPWM ที่ CH I ระดับแรงดันอินพุต 40 V และที่เอาต์พุต CH II ที่ความถี่ 20 kHz, Duty 10%
(ข)การเกิดพลาสมาระหว่างการทดสอบกับตัวอย่างของเหลวนี้

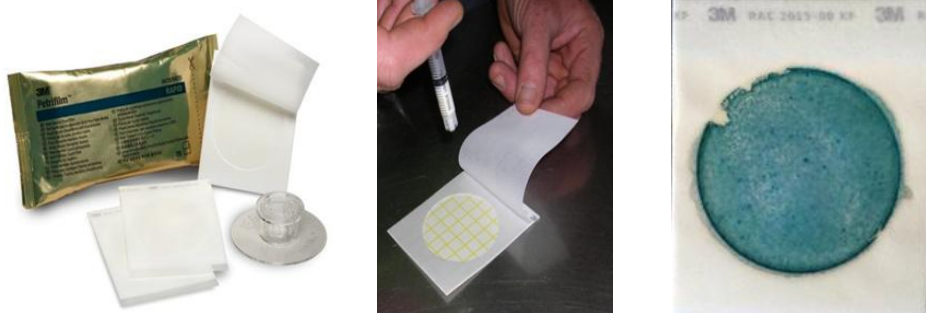
ตารางที่ 1 การทดสอบกับของเหลวนี้ที่ความถี่ 20 kHz โดยมี Duty cycle 10% 15%และ 25%

Vin (V)	Duty cycle 10%		Duty cycle 15%		Duty cycle 25%	
	Vout (kV)	I out (mA)	Vout (kV)	I out (mA)	Vout (kV)	I out (mA)
10	10.13	100	19.15	100	19.86	100
20	22.03	300	24.17	500	23.16	500
30	26.16	500	28.20	500	26.31	500
40	27.22	600	29.26	600	28.39	600
50	28.10	700	30.12	650	29.12	700

4.ขั้นตอนการทดสอบ

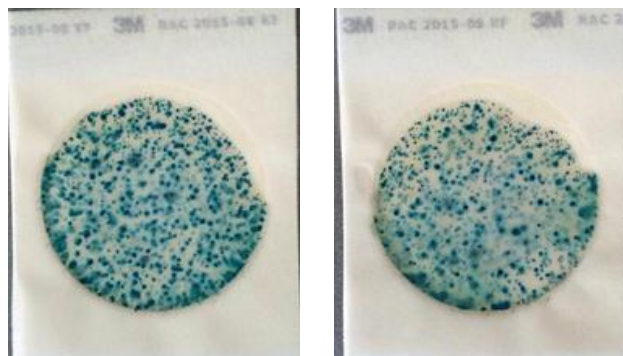
การทดสอบด้วยเชื้อตัวอย่างกับแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate. ตามรูปที่ 5 (ก) ด้วยน้ำคลอง บางบัวและนมสด ที่ไม่ผ่านกระบวนการอื่นใด โดยมีลำดับการทดสอบดังนี้

1. การนำตัวอย่างทดสอบปริมาณ 1 ml. หยดลงบนแผ่นทดสอบก่อนการฆ่าเชื้อที่สนามไฟฟ้าความเข้มสูง ดังแสดงตามรูปที่ 5 (ข) จากนั้นทำการนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิประมาณ 32-35 °C เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาอ่านผลทดสอบ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 5 (ค)



ภาพที่ 5 (ก) แผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate (ข) การหยดของเหลวทดสอบ
(ค) จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำคลองบางบัวก่อนการทดสอบ

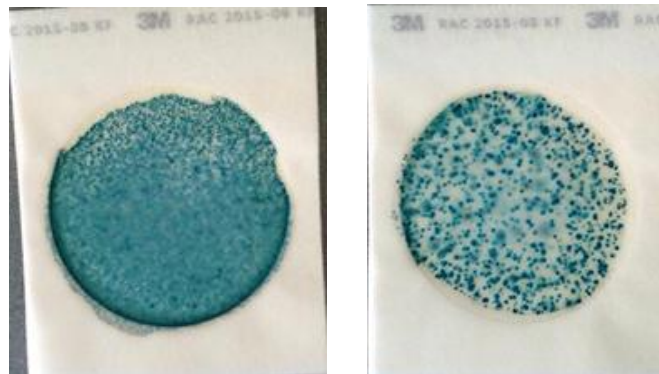
2. นำตัวอย่างน้ำคลองบางบัวแบบเดียวกันผ่านกระบวนการอิเล็กโทรโพลีเซชันหรือการฆ่าเชื้อด้วยพลาสมาด้วยความถี่ที่ 20 kHz และ Duty 15% และ 25% เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ และทดสอบด้วยแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate ด้วยการหยดน้ำลงบนแผ่นทดสอบปริมาณ 1 ml. จากนั้นบ่มเชื้อทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน และนำแผ่น 3M ที่ผ่านขั้นตอนก่อนและหลังการบำบัดมาอ่านค่าจำนวนโคโรนี ตามที่แสดงดังภาพที่ 6 และ 7



(ก) เวลา 5 นาที

(ข) เวลา 10 นาที

ภาพที่ 6 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์หลังผ่านการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 15% เป็นเวลา 5 และ 10 นาที



(ก) เวลา 5 นาที

(ข) เวลา 10 นาที

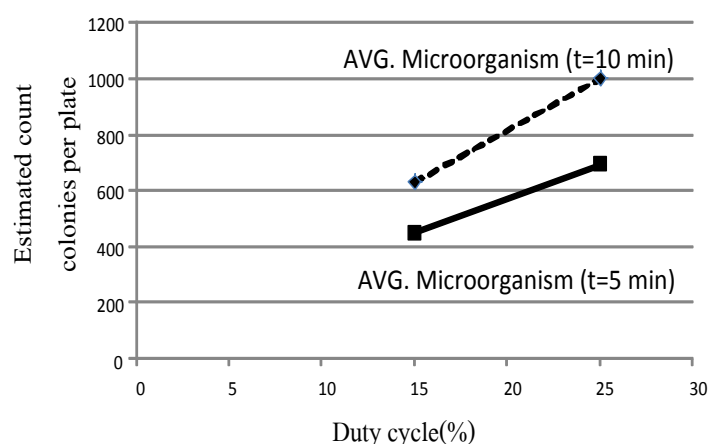
ภาพที่ 7 จำนวนเชื้อจุลินทรีย์หลังผ่านการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 25% เป็นเวลา 5 และ 10 นาที

4.1 ผลการทดสอบจำนวนจุลินทรีย์การเปลี่ยนแปลงของน้ำตัวอย่าง

1. ผลการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz, Duty Cycle 15% เวลา 5 นาที และ 10 นาที แสดงผลบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate ได้ดังภาพที่ 6 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งมีผลการอ่านค่า หลังจากการทดสอบผ่านไป 5 นาที น้ำคลองบางบัว นับเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ $21 \times 30 = 630$ Colonies Per Plate และหลังจากการทดสอบผ่านไป 10 นาที น้ำคลองบางบัว นับเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ $15 \times 30 = 450$ Colonies Per Plate

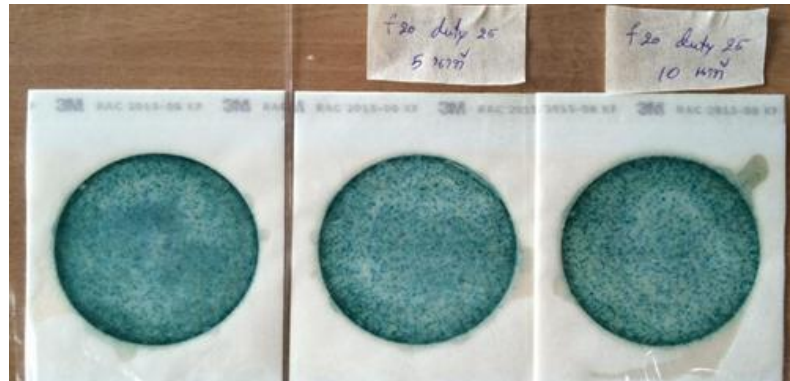
2. ผลการทดสอบที่ความถี่ 20 kHz, Duty Cycle 25% เวลา 5 นาที และ 10 นาที แสดงผลบนแผ่น 3M Petrifilm-E.coli Count Plate ได้ดังภาพที่ 7 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ซึ่งมีผลการอ่านค่า หลังจากการทดสอบผ่านไป 5 นาที น้ำคลองบางบัว นับจุลินทรีย์ไม่ได้ เนื่องจากมีปริมาณมากเกินไป และหลังจากการทดสอบผ่านไป 10 นาที น้ำคลองบางบัว นับเชื้อจุลินทรีย์ได้ประมาณ $23 \times 30 = 690$ Colonies Per Plate

จากการทดลองการใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงทดสอบกับน้ำตัวอย่างจะเห็นการเปลี่ยนแปลงการที่เห็นผลดีที่สุดจะอยู่ที่ความถี่ประมาณ 20 kHz, duty Cycle 25% แรงดันกระตุ้นที่ประมาณ 50 VDC เมื่อระยะเวลา 5 นาที และ 10 นาที จะเห็นความแตกต่างของจำนวนโคโลนีที่ผ่านการทดลองเมื่อเก็บไว้ในที่เดียวกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าการทดลองกับแผ่น 3M Petri-film E.coli Count Plate ซึ่งสามารถทราบจำนวนจุลินทรีย์ที่ลดลงอย่างสูงเมื่อผ่านขั้นตอนของการผ่านพลาสมาที่แรงดันสูงที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นดังแสดงดังภาพที่ 8

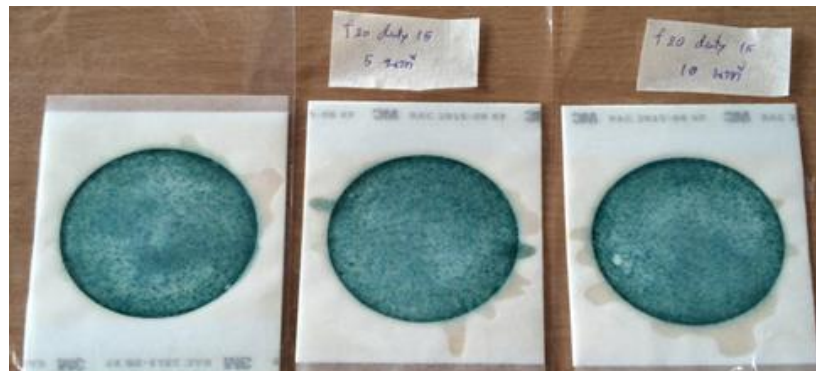


ภาพที่ 8 แสดงจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการทดสอบที่ Duty cycle (%) กับเวลาของการทดสอบ

นอกจากนี้ยังทำการทดสอบกับน้ำมันโคดิบ โดยการกำหนดให้แรงดันอินพุต 50 โวลต์ ความถี่ 20 kHz และ Duty Cycle 15% และ 25% เป็นเวลา 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับดังแสดงดังภาพที่ 9



(ก) ที่ duty cycle 15% ก่อนการทดสอบ เวลา 5 นาที เวลา 10 นาที



(ข) ที่ duty cycle 25% ก่อนการทดสอบ เวลา 5 นาที เวลา 10 นาที

ภาพที่ 9 แสดงผลการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำมันที่ $f = 20$ kHz ที่ (ก) Duty cycle 15% และ (ข) 25%

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบด้วยตัวอย่างน้ำมันโคดิบนั้นจะพบว่ามีความแตกต่างอยู่กับน้ำคลองบางบัวการทดลองโดยใช้ไขมันโคสด ที่ $f = 20$ Hz , Duty = 15%, 20% ใช้เวลาในการทดลองที่ 5 นาที และ 10 นาที ตามลำดับ พบว่าจำนวนเชื้อจุลินทรีย์หรือโคโลนีมีจำนวนลดลงเมื่อเทียบกับเชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อแต่เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนมากและได้ผ่านระยะเวลาการขนส่งมาไกลซึ่งอาจจะเกิดการเน่าเสียหายแล้วจึงไม่สามารถนับเชื้อจุลินทรีย์ได้ด้วยตาเปล่าได้

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการใช้พัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูงมาทดสอบการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของโคโลนีมีการลดลง โดยเห็นผลดีที่สุดจะอยู่ที่ความถี่ประมาณ 20 kHz, duty Cycle 25% แรงดันกระตุ้นที่ประมาณ 50 VDC เมื่อระยะเวลาผ่านไปพบว่าความแตกต่างของจำนวนโคโลนีที่ผ่านการทดสอบกับที่ไม่ผ่านการทดสอบเมื่อเก็บไว้ในบรรยากาศของอุณหภูมิห้อง แสดงให้เห็นถึงการลดลงอย่างมีนัยสำคัญด้วยการทดลอง

กับแผ่น 3M Petri-film E.coli Count Plate ซึ่งสามารถทดสอบจำนวนจุลินทรีย์ของกลุ่มโคคลินี่ที่ผ่านขั้นตอนของการผ่านพลาสติกที่แรงดันสูงตามระยะเวลาที่กำหนดไว้

6. เอกสารอ้างอิง

- นิติพงศ์ ปานกลาง และกฤษณชนม์ ภูมิภักติพิชญ์. 2554. การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์โทรคมนาคมเบอร์ขนาดเล็กสำหรับการพาสเจอร์ไรซ์พลังงานต่ำ. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ. 1148-1156.
- พิมพ์พร เสนอิน แพรพรรณ ปิ่นไชย อรพรรณ แซ่ไค้ว อาทิตย์ ยาวุฒิ และพานิช อินต๊ะ. 2555. การออกแบบห้องฆ่าเชื้อแบบใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์สำหรับกระบวนการพาสเจอร์ไรซ์อาหารเหลว ; วารสารวิจัยและพัฒนา ;มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- วุฒิไกร วงษาศรีและวุฒิเฉลิม นิละมนต์ 2553. “การใช้พัลส์สนามไฟฟ้าเพื่อการฆ่าเชื้อในอาหารเหลวและน้ำผลไม้. ปรินญาพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553
- สัณญา คุณขาว. 2557. การถนอมอาหารด้วยพัลส์สนามไฟฟ้าแรงดันสูง.การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 6 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้โลกมีสันติสุข. **ECTI-CARD Proceedings 2014, Chiang Mai, Thailand**.vol. 6. ID1035.
- H. Hulsheger, J. Potel, and E.G. Niemann. 1981. Killing of bacteria with electric pulses of high field strength. **Radiat. Environ. Biophys.** vol.20. 53-65.
- S. Ho and G. S. Mittal. 2000. High voltage pulsed electrical field for liquid food pasteurization, **Food Reviews International**. vol. 16. no. 4. 395-434.

บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิว

A CLOUD SERVICE FOR QUEUE MANAGEMENT

อิสเรศร์ สำรวรินทร์

นักศึกษานิเทศศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : isarez.sum@gmail.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอบริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการจัดการคิวเพื่อแก้ปัญหาในการรอคิวที่พบได้ทั่วไปในหน่วยงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการรอคิวเป็นเวลานาน หรือแม้แต่การลัดคิว บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวสามารถช่วยให้หน่วยงานผู้ให้บริการคิวทำการกำหนดกลุ่มคิว ประเภทคิว มีสถิติการให้บริการคิว เป็นต้น ได้อย่างเป็นอิสระจากหน่วยงานผู้ให้บริการคิวรายอื่นที่กำลังใช้บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวในเวลาเดียวกัน ทั้งยังสามารถช่วยให้ผู้ใช้บริการคิวสามารถทำการจองคิวล่วงหน้าผ่านอินเทอร์เน็ตโดยไม่ต้องไปเดินทางไปขอรับคิวและรอคิวที่หน่วยงานเป้าหมาย และช่วยให้ผู้ใช้บริการคิวทราบระยะเวลาที่ต้องรอคิวโดยประมาณจากการสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวจากกลุ่มผู้ใช้จริงในด้านเนื้อหา การออกแบบและการทำงานทั้งระดับผู้ใช้งานรายบุคคลและระดับหน่วยงาน พบว่ามีผลเฉลี่ยความพึงพอใจในระดับดี

คำสำคัญ : บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิว, บริการซอฟต์แวร์คลาวด์, จองคิวออนไลน์

ABSTRACT

This paper presents a cloud software as a service for queuing management to solve the problem of queuing in several organizations such as waiting in a queue for long time or queue breaking. Queuing management as a service can help organizations providing queues set queue groups, queue types, have queue service statistics independently from other organizations that may be using the queuing management as a service at the same time. Furthermore, the service can help customers book desired queues in advance via the Internet without picking up queues or waiting in queue at target organizations. The service can also estimate waiting times in queues. The user satisfaction survey of the proposed queuing management as a service in terms

of content, design and operation of individual users and organizational users has showed that the service has had the average satisfaction at a good level.

KEYWORD : Queuing management as a service, software as a service, online queue booking

บทนำ

ในปัจจุบันการเข้าแถวหรือเข้าคิวนั้นเป็นวัฒนธรรมสากล การติดต่อขอรับบริการด้านต่างๆ นั้นจำเป็นต้องมีการเข้าแถวหรือเข้าคิวรอเพื่อขอรับบริการ เช่น การเข้าคิวรักษาโรคในโรงพยาบาล การเข้าคิวทำธุรกรรมที่ธนาคาร และการเข้าคิวรับประทานอาหารในร้านอาหาร บ่อยครั้งที่ผู้ใช้บริการพบว่าการรอคิวต้องเสียเวลามากและอาจเกิดการลัดคิวขึ้นในบางครั้ง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการผลิตเครื่องแจกบัตรคิวอัตโนมัติเพื่ออำนวยความสะดวกให้แก่ผู้มาขอรับบริการทำให้สามารถจัดการคิวได้อย่างเป็นระบบระเบียบ แต่ผู้ติดต่อขอรับบริการนั้นก็ยังคงเข้ามาที่หน่วยงานนั้นๆก่อนจึงจะสามารถรับบัตรคิวได้และต้องเสียเวลารอคิวอย่างเลี่ยงไม่ได้ทำให้ผู้มาติดต่อขอรับบริการมีปัญหาลดเวลาเป็นอย่างมากในการเข้าคิวหรือรอคิว

จากปัญหาดังกล่าว ผู้จัดทำได้เล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นจึงเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยการพัฒนานวัตกรรมในรูปแบบของบริการซอฟต์แวร์คลาวด์ (Software-as-a-Service: SaaS) ขึ้นเรียกว่า บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิว (Queuing Management as a Service: QMS) เพื่อช่วยให้หน่วยงานผู้ให้บริการสามารถบริหารคิวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยให้ผู้ติดต่อขอรับบริการได้รับความสะดวกสบายไม่ต้องเสียเวลาในการรอคิว ป้องกันปัญหาการแซงคิว ลดจำนวนผู้รอคิวในพื้นที่ของหน่วยงานซึ่งอาจมีไม่เพียงพอรวมทั้งพื้นที่จอดรถสำหรับผู้ใช้บริการคิว และยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายให้กับหน่วยงานในด้านการจัดการคิวโดยไม่จำเป็นต้องซื้อและบำรุงรักษาเครื่องแจกบัตรคิวอัตโนมัติ

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อพัฒนาบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในธุรกิจประเภทต่างๆ ได้

แนวคิด ทฤษฎี และระบบที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการจัดการคิวมีแนวคิด ทฤษฎี และระบบที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังนี้

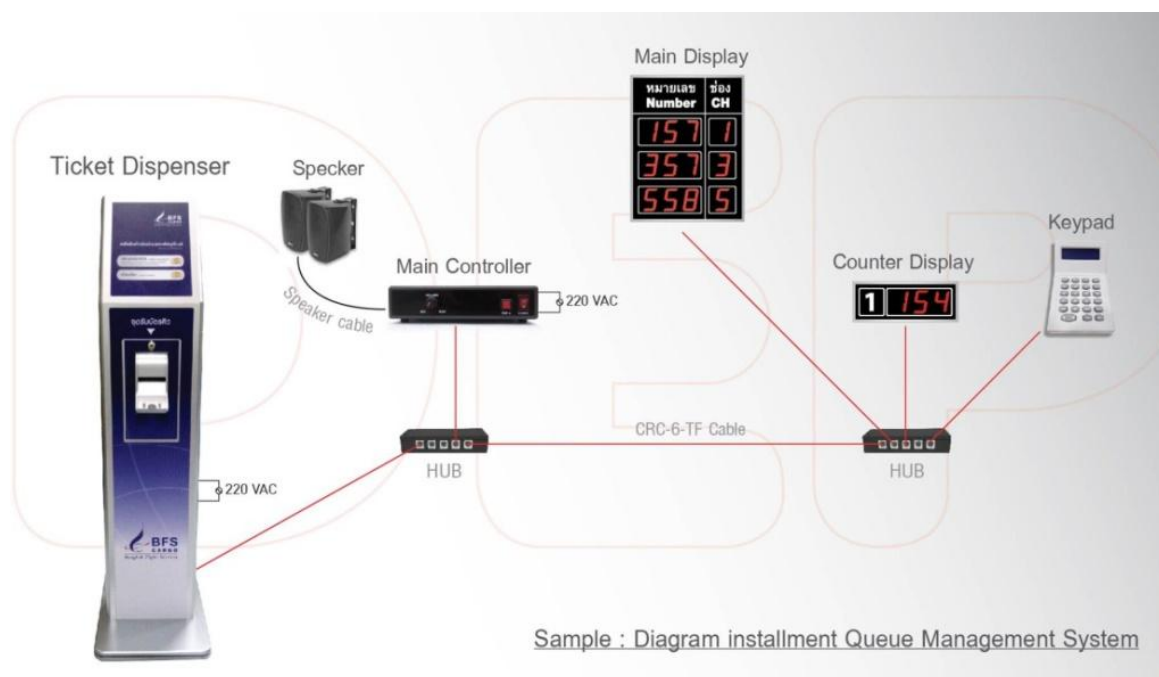
การจัดเวลาแบบมาก่อนได้ก่อน (FCFS, First-come First-served Scheduling) เป็นแนวคิดของการจัดลำดับคิวเพื่อให้การทำงานได้ครบวงจร ซีพียู (CPU) จนกว่าจะทำงานเสร็จและให้การทำงานลำดับถัดไปเข้ามาใช้งาน ซีพียู ซึ่งจำกัดเวลาการครอบครองซีพียู แต่ถ้าการทำงานมีการเรียกใช้งานอุปกรณ์อื่นพุด-เอาต์พุด หรือรอเหตุการณ์บางอย่าง การทำงานนั้นจะต้องปลดปล่อยซีพียู และออกจากสถานะการใช้งานไปอยู่ในสถานะติดขัดเมื่อใดที่งานเสร็จสิ้นลงหรือเกิดเหตุการณ์ที่กำลังรออยู่ การทำงานนั้นจึงค่อยกลับเข้าไปอยู่ต่อท้ายคิวของสถานะพร้อมใหม่อีกครั้ง (พีระพนธ์ โสพิศสถิต 2552, สุจิตรา อุดลย์เกษม 2552)

การเข้าก่อนออกก่อน (FIFO, First in First out) เป็นแนวคิดของการจัดการคลังสินค้า หมายถึง สินค้าใดที่เข้าคลังสินค้านั้นก่อนก็หมุนเวียนออกไปก่อน โดยตั้งอยู่ในสมมติฐานว่าสินค้าหรือวัตถุดิบที่ซื้อเข้ามาใช้ก่อน

จะต้องถูกนำออกขายหรือนำมาใช้ก่อนเช่นกัน การเข้าก่อนออกก่อนมีแนวคิดเป็นไปตามการค้าโดยปกติที่บริษัท มักจะต้องขายหรือใช้ของเก่าก่อนเสมอ ดังนั้นด้วยระบบการเข้าก่อนออกก่อน ต้นทุนของวัตถุดิบที่ซื้อเข้ามาก่อน จะใช้เป็นต้นทุนสินค้าที่ผลิตออกมาก่อนด้วยเช่นกัน (เยาพา ณ.นคร 2545, พิรพร หมุนสนธิ, สุธี พงศาสกุลชัย, อัจจิมา เลียงอยู่. 2553)

ภาษายูเอ็มแอล (UML: Unified Modeling Language) คือ โมเดลมาตรฐานที่ใช้หลักการออกแบบโอ โอพี (Object oriented programming) รูปแบบของภาษายูเอ็มแอลจะมีสัญลักษณ์ที่นำไปใช้ในโมเดลต่างๆ ยูเอ็มแอลจะมีข้อกำหนดกฎระเบียบต่างๆในการ โปรแกรมโดยกฎระเบียบต่างๆจะมีความหมายต่อการเขียนโปรแกรม ดังนั้นการใช้ยูเอ็มแอลจะต้องทราบความหมายของสัญลักษณ์ต่างๆซึ่งสัญลักษณ์ต่าง ๆ นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการตีความของการออกแบบระบบ ก่อนนำไปปฏิบัติกับระบบงานจริง (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2548)

เครื่องแจกบัตรคิวอัตโนมัติ ตัวอย่างเครื่องแจกบัตรคิวอัตโนมัติอ้างอิงจาก บริษัท เดฟ โซลูชั่น จำกัด ที่มีการพัฒนาเครื่องแจกบัตรคิวอัตโนมัติ โดยใช้ชื่อว่า “ระบบบัตรคิวอัตโนมัติ (Automatic Queue System)” โดยมีโครงสร้างของการทำงานตามภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 โครงสร้างการทำงานของเครื่องแจกบัตรคิวอัตโนมัติ (เดฟ โซลูชั่น จำกัด, 2558)

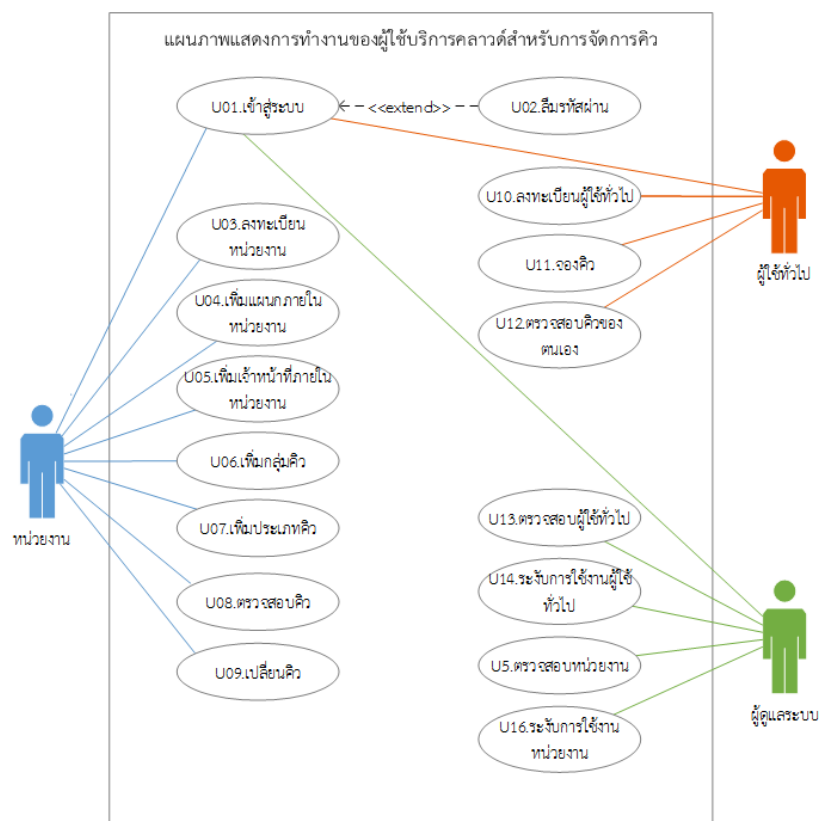
วิธีการดำเนินการศึกษา

วิธีการดำเนินงานนั้นจะดำเนินงานตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ตามวัฏจักรการพัฒนา ระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ ได้แก่ โปรแกรม Apache Tomcat รุ่น 7.0.59, โปรแกรม MySQL รุ่น 5.6.25, โปรแกรม Java JRE รุ่น 7 และ โปรแกรม Eclipse Java EE IDE for Web Developers. รุ่น Kepler เทคโนโลยีกรอบการทำงานที่นำมาช่วยในการพัฒนาซอฟต์แวร์ ได้แก่ Bootstrap รุ่น 3.3.1 (Twitter 2014), jQuery รุ่น 1.11.1 (jQuery Foundation 2014) และ AngularJS รุ่น 1.2.26 (Google 2014) การวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยภาษายูเอ็มแอล (Unified Modeling Language: UML) แสดง

ในภาพประกอบที่ 2 ถึง 6 และนำระบบที่ได้ทำการพัฒนามานั้นไปติดตั้งให้บริการบนบริการ โครงสร้างพื้นฐาน คลาวด์ในรูปแบบคลาวด์เว็บโฮสติ้ง (Cloud web hosting)

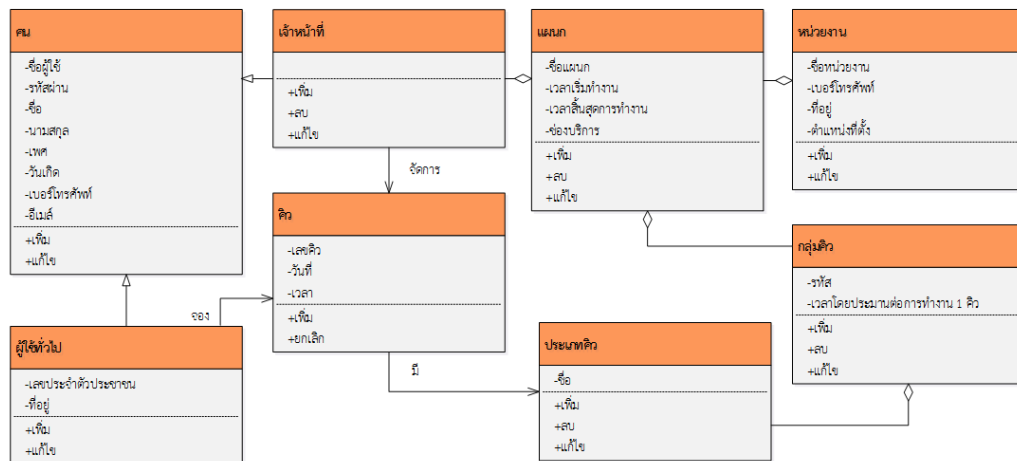
การดำเนินการศึกษานั้นได้เก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของระบบจากระบบเดิมที่ใช้ในปัจจุบันคือ เครื่องแม่ข่ายคอมพิวเตอร์ของบริษัทตัวอย่างคือ บริษัท เคพี โซลูชั่น จำกัด (เคพี โซลูชั่น จำกัด, 2558) และได้วิเคราะห์และออกแบบเป็นแผนภาพยูเอ็มแอลต่างๆพร้อมทั้งฐานข้อมูลก่อนที่จะพัฒนาระบบ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ภาพประกอบที่ 2 แสดงแผนภาพยูสเคส (use case diagram) ซึ่งแสดงฟังก์ชันต่างๆ ของผู้ใช้แต่ละกลุ่ม โดยประกอบด้วย ผู้ใช้ในระดับ หน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ ผู้ใช้ทั่วไป และผู้ดูแลระบบ ซึ่งจะมีการทำงานที่แตกต่างกันออกไป



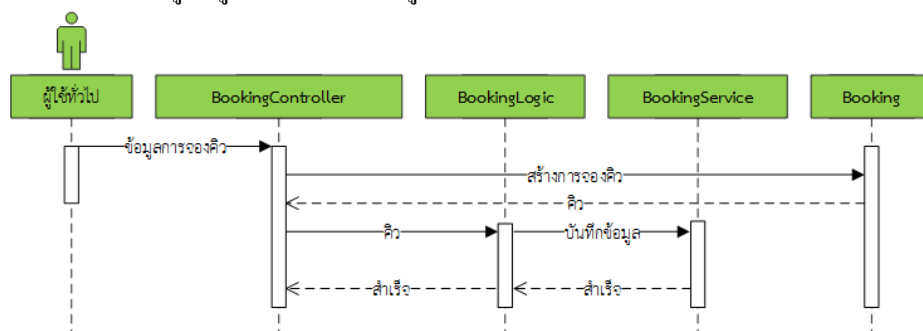
ภาพประกอบที่ 2 แสดงแผนภาพยูสเคส

ภาพประกอบที่ 3 แสดงแผนภาพคลาส (Class Diagram) ซึ่งแสดงรายละเอียดการทำงานและขอบเขตข้อมูลของคลาสโดยประกอบไปด้วยชื่อคลาส ข้อมูลภายในคลาสและฟังก์ชันการทำงานของแต่ละคลาส



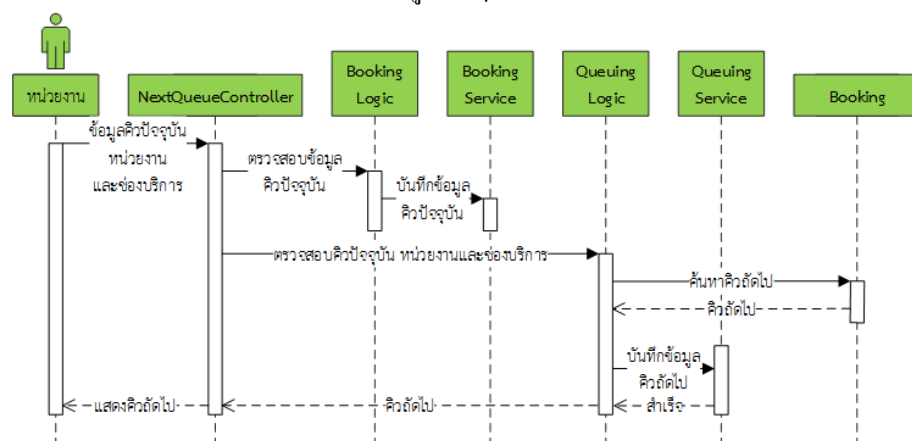
ภาพประกอบที่ 3 แสดงแผนภาพคลาส

ภาพประกอบที่ 4 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ (Sequence Diagram) ซึ่งแสดงรายละเอียดการทำงานของฟังก์ชันการจองคิวของผู้ใช้ทั่วไปโดยมีผู้ใช้ในระดับผู้ใช้ทั่วไปเป็นคนร้องขอการทำรายการและระบบจะดำเนินการสร้างคิวตามข้อมูลที่ใช้ทั่วไปกรอกข้อมูลการจองคิวเข้ามา



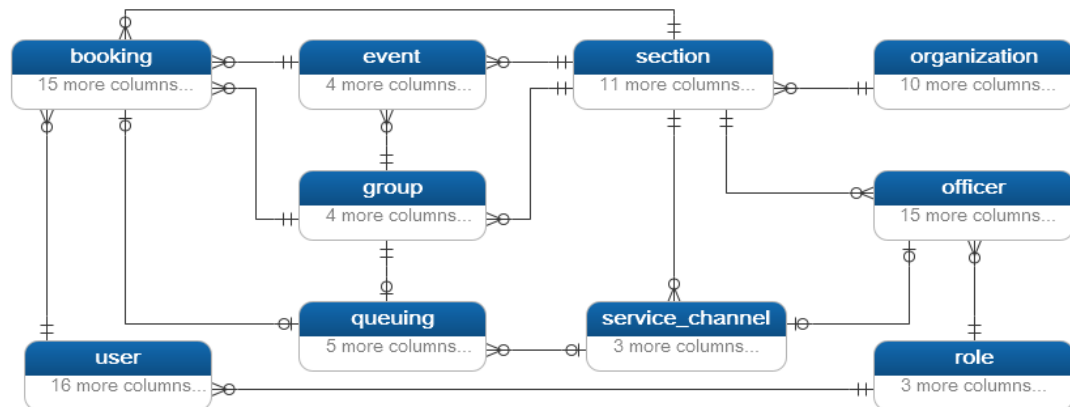
ภาพประกอบที่ 4 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ ฟังก์ชันการจองคิวของผู้ใช้ทั่วไป

ภาพประกอบที่ 5 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ ซึ่งแสดงรายละเอียดการทำงานของฟังก์ชันการเปลี่ยนคิวของหน่วยงานโดยผู้ใช้ระดับหน่วยงานเป็นคนร้องขอการทำรายการและระบบจะตรวจสอบพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลคิวปัจจุบันและทำการค้นหาคิวถัดไปมาเพื่อบันทึกข้อมูลต่างๆและแสดงผลทางหน้าจอ



ภาพประกอบที่ 5 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ ฟังก์ชันการเปลี่ยนคิวของหน่วยงาน

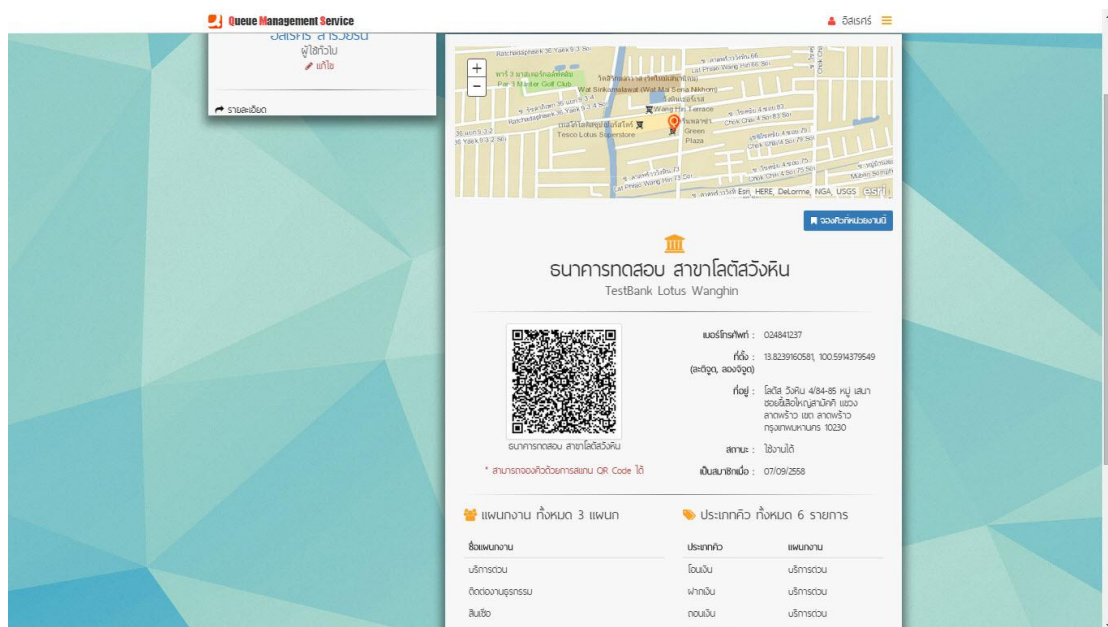
ภาพประกอบที่ 6 แสดงแผนภาพอีอาร์ (ER Diagram) ซึ่งแสดงรายละเอียดโครงสร้างและความสัมพันธ์ของข้อมูลของบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิว



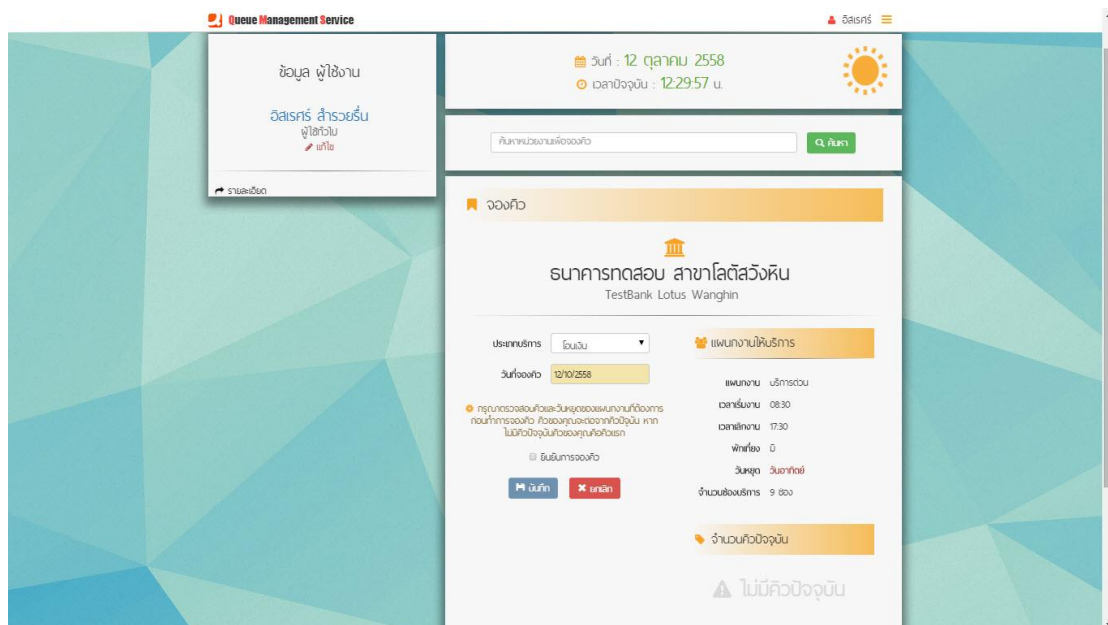
ภาพประกอบที่ 6 แสดงแผนภาพอีอาร์

ผลการศึกษา

ในส่วนการใช้งานในระดับผู้ใช้ทั่วไปมีฟังก์ชันการทำงานหลักคือ การจองคิวเพื่อขอรับบริการ ซึ่งแสดงการใช้งานตามภาพประกอบที่ 7 และ 8

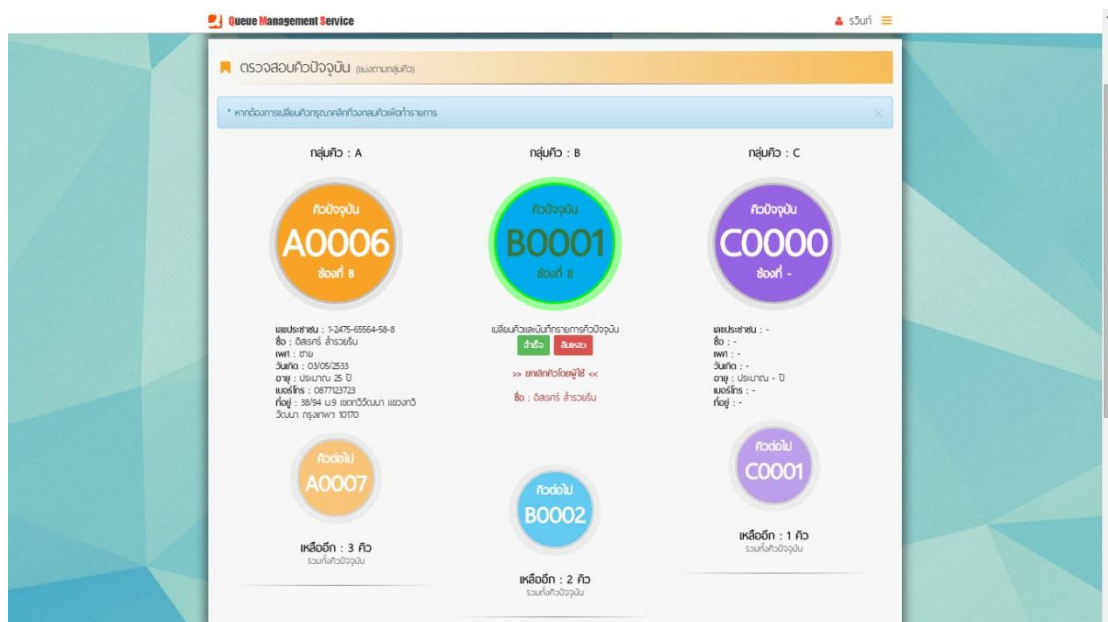


ภาพประกอบที่ 7 แสดงรายละเอียดต่างๆของหน่วยงาน



ภาพประกอบที่ 8 แสดงฟังก์ชันการทำรายการจองคิว

และในส่วนการใช้งานในระดับหน่วยงานมีฟังก์ชันการทำงานหลักคือ การเปลี่ยนคิวของแผนก ซึ่งแสดงการใช้งานตามภาพประกอบที่ 9



ภาพประกอบที่ 9 แสดงฟังก์ชันการทำรายการเปลี่ยนคิว

ผลที่ได้จากการทำแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้งานบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวในด้านคุณภาพของเนื้อหา ด้านการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกและด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบทั้งการ

ใช้งานในระดับผู้ใช้งานทั่วไปและการใช้งานในระดับหน่วยงาน โดยสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 50 คนและแบ่งการเข้าใช้งานระบบด้านผู้ใช้งานทั่วไปและหน่วยงานเป็น 30 คนและ 20 คนตามลำดับต่างมีผลเฉลี่ยความพึงพอใจอยู่ในระดับที่ดีถึงดีมากโดยด้านผู้ใช้งานทั่วไปมีความพึงพอใจในระดับดีมากคิดเป็นร้อยละ 92% และระดับดีคิดเป็นร้อยละ 8% ในด้านหน่วยงานมีความพึงพอใจในระดับดีมากคิดเป็นร้อยละ 94% และระดับดีคิดเป็นร้อยละ 6% ของกลุ่มตัวอย่าง

สรุปผลการศึกษา

บทความนี้เสนอการพัฒนาบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวขึ้น ทำให้สามารถแก้ไขปัญหาในการขอบริการตามหน่วยงานต่างๆและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในด้านการบริการรวมทั้งผู้ขอรับบริการได้รับความสะดวกสบายในการติดต่อขอรับบริการในด้านต่างๆ โดยผลที่ได้จากการประเมินความพึงพอใจจากการใช้งานบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวในด้านเนื้อหา การออกแบบและการทำงานของระบบทั้งในระดับการใช้งานผู้ใช้งานทั่วไปและหน่วยงานพบว่าความพึงพอใจในการใช้งานอยู่ในระดับที่ดี

บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวนั้นสามารถเข้ามาช่วยแก้ไขปัญหาหลักๆในการรอคิวที่ต้องเสียเวลามากและการเข้าไปรับคิวที่หน่วยงานเป้าหมายอย่างเห็นได้ชัดและมีประสิทธิภาพทำให้ผู้ใช้งานได้รับความสะดวกสบายในการรับคิวและการรอคิวอีกทั้งหน่วยงานต่าง ๆ นั้นยังสามารถลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในด้านต่างๆได้ บริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวจึงได้การตอบรับที่ดีจากการทดลองใช้งานของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 2 กลุ่ม

ข้อเสนอแนะ

ผู้ใช้งานในระดับต่างๆสามารถนำบริการคลาวด์สำหรับการจัดการคิวไปประยุกต์ใช้งานได้ แต่ผู้ใช้งานระดับหน่วยงานควรจะกรอกข้อมูลต่างๆให้ชัดเจนเพื่อให้ผู้ขอรับบริการได้รับความสะดวกสบายในการใช้งานในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไปก็ต้องกรอกข้อมูลที่จริงเพื่อข้อมูลที่ถูกต้องและง่ายต่อการติดต่อกับหน่วยงาน

รายการอ้างอิง

เทพ ไขภูชั้น จำกัด. 2558. “ระบบบัตรคิวอัตโนมัติ (Automatic Queue System)”. มิถุนายน 11, 2558, จาก

<http://www.depsolution.com/queue/>

พิรพร หมุนสนิท, สุธี พงศาตกุลชัย, อัจจิมา เลี้ยงอยู่. 2553. ระบบปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: เคทีพี

พิระพนธ์ โสพัศสถิต. 2552. ระบบปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เขาวพา ณ.นกร. 2545. การบัญชีต้นทุน 1. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

สุจิตรา อดุลย์เกษม. 2552. ระบบปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. 2548. การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.

Twitter. 2014. “Bootstrap 3.3.1”. June 19, 2015, from <http://www.getbootstrap.com>

jQuery Foundation. 2014. “jQuery 1.11.1”. June 25, 2015, from <http://www.jquery.com>

Google. 2014. “AngularJS 1.2.26”. June 26, 2015, from <http://www.angularjs.org>

บริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก:

กรณีศึกษาของวิชาฟิสิกส์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

**SOFTWARE-AS-A-SERVICE FOR PERFORMANCE EVALUATION OF
ROYAL THAI ARMY OFFICERS: A CASE STUDY OF PHYSICS
DEPARTMENT, ACADEMIC DIVISION, CHULACHOMKLAO ROYAL
MILITARY ACADEMY**

ร้อยเอก สุรพันธ์ โพธิ์ทอง

นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: suraphan79@gmail.com

ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก ตามระเบียบกองทัพบกกว่าด้วยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก พ.ศ. 2556 ระบบถูกพัฒนาเป็นบริการซอฟต์แวร์คลาวด์โดยใช้ภาษาพีเอชพีทำงานร่วมกับฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล เพื่อรองรับการใช้งานของทุกหน่วยงานในกองทัพบกซึ่งมีจำนวนมากให้ใช้งานได้พร้อมกันผ่านเว็บเบราว์เซอร์ การประเมินผลระบบถูกดำเนินโดยให้กลุ่มตัวอย่างตอบแบบประเมินความพึงพอใจ ซึ่งจากผลการประเมินพบว่ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.79$, S.D. = 0.53) โดยในส่วนของความถูกต้องในการทำงานของระบบพบว่าให้ผลลัพธ์จากการประเมินค่าที่ถูกต้องเช่นเดียวกับการประเมินค่าในการปฏิบัติแบบเดิม ระบบยังสามารถช่วยให้กระบวนการประเมินโดยแต่ละผู้ประเมินเป็นอิสระจากกัน ช่วยลดระยะเวลาการส่งต่อแบบประเมินค่ากำลังพล และช่วยลดความผิดพลาดจากการประมวลผลข้อมูลที่มีสาเหตุมาจากผู้ใช้งาน

คำสำคัญ : บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ การประเมินค่าการปฏิบัติงาน กำลังพลกองทัพบก

ABSTRACT

This paper presents the development of Army-personnel performance evaluation system, according to the Royal Thai Army regulation on personnel performance evaluation 2013. The system has been developed in the form of cloud software as a service with PHP language and MySQL database. The system is designed to serve all of many units in the Army simultaneously, via web browsers. The evaluation of the system itself was carried out by having a sample group filling questionnaires about their satisfaction. The results show that the satisfaction is in the level “good”, ($\bar{X} = 3.79$, S.D. = 0.53). The system accuracy is in the same level as that of the traditional system. Overall, the system can help promote freedom of evaluation for each individual appraiser, and reduce time and personnel work to deliver the evaluation forms. In addition, the system helps decrease mistakes due to human errors.

KEY WORDS: Software-as-a-Service, Performance evaluation, Royal Thai Army officers

1. บทนำ

การประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกนับว่าเป็นกระบวนการหนึ่งของระบบการบริหารจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีความสำคัญในการพัฒนากำลังพล โดยการประเมินค่าดังกล่าวกองทัพบกปฏิบัติตามระเบียบกองทัพบกว่าด้วยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก พ.ศ. 2556 ประกาศ ณ วันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 มีความมุ่งหมายของการประเมินค่าการปฏิบัติงานกระทำเพื่อ 1) ใช้เป็นข้อพิจารณาในการบริหารงานกำลังพล 2) ใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณา บำเหน็จ ค่าจ้าง ค่าตอบแทนประจำปี 3) ใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนากำลังพล 4) ประเมินความเหมาะสมในการปฏิบัติงานของกำลังพลในตำแหน่งต่าง ๆ 5) ให้ผู้บังคับบัญชาได้รับทราบถึงคุณค่าของกำลังพลในบังคับบัญชาของตนเอง 6) ประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลตามห้วงระยะเวลา

การประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกมีการดำเนินงานหลายขั้นตอน การดำเนินการใช้ระยะเวลานานในระหว่างการส่งต่อแบบประเมินค่ากำลังพล ทำให้การประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกเป็นไปด้วยความล่าช้า และการปฏิบัติดังกล่าวยังคงบันทึกด้วยลายมือผ่านแบบฟอร์ม (กระดาษ) ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดจากการประมวลผลข้อมูลของกำลังพล วิธีแก้ปัญหาเบื้องต้นคือการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาพัฒนาระบบการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก โดยให้ความสำคัญกับความถูกต้องในการประมวลผลตามหลักการในระเบียบกองทัพบกว่าด้วยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก พ.ศ. 2556 เพื่อความสะดวกในการใช้งานและความรวดเร็ว การออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ให้กำลังพลปฏิบัติเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้อง และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ประเมินค่าของผู้ประเมินแต่ละระดับเป็นอิสระจากกัน สามารถสรุปรายงานผลตามแบบรายงานผลการประเมินค่ากำลังพลของกองทัพบก อย่างไรก็ตาม การทำให้ระบบสามารถรองรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานของทุกหน่วยงานในกองทัพบกซึ่งมีจำนวนหลายหน่วยงานให้ดำเนินการประเมินได้ในช่วงเวลาเดียวกันเป็นสิ่งที่ท้าทาย ผู้ศึกษาจึงใช้แนวคิดการคำนวณแบบคลาวด์มาใช้ในการพัฒนาระบบให้เป็นบริการซอฟต์แวร์คลาวด์ (Software-as-a-Service: SaaS)

2. แนวคิด ทฤษฎี และระบบงานที่เกี่ยวข้อง

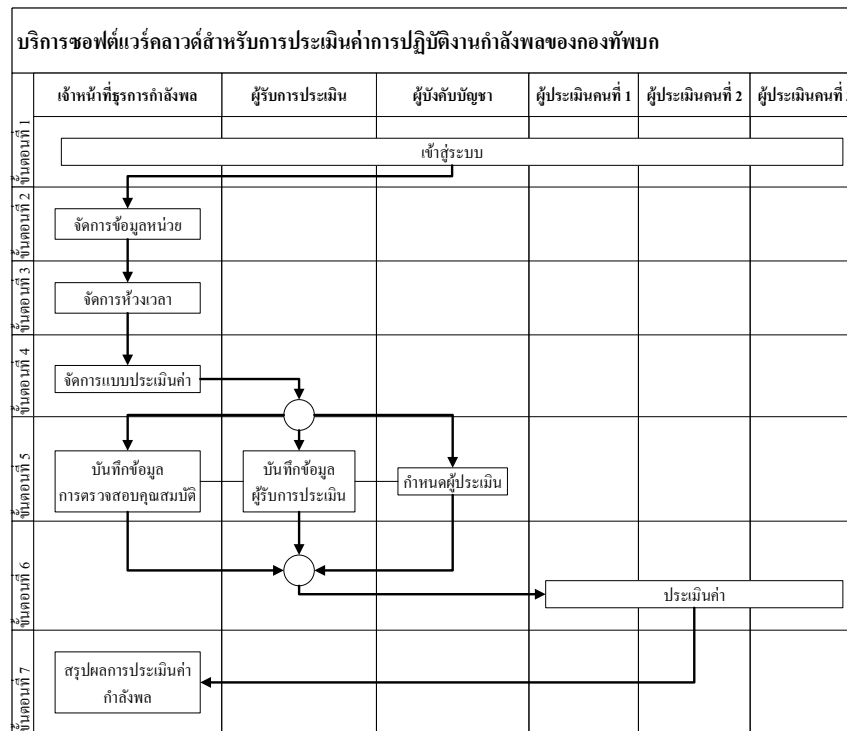
ระเบียบกองทัพบกว่าด้วยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก พ.ศ. 2556 ได้กำหนดจุดมุ่งหมายและรายละเอียดของการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก โดยกำหนดระบบการประเมินไว้ในหมวด 2 การดำเนินการ เพื่อใช้เป็นกลไกการดำเนินการในการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกให้สามารถนำผลการประเมินค่าไปใช้ในการบริหารงานกำลังพลได้อย่างเหมาะสม มีความเป็นธรรม และเกิดประโยชน์สูงสุดแก่กองทัพบก (กองทัพบก, 2556)

การศึกษาในครั้งนี้ผู้ศึกษาได้พัฒนาระบบการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก โดยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกปฏิบัติตามวงจรการประเมิน ซึ่งหมายถึงห้วงเวลาที่จะต้องทำการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกปีละ 2 ครั้ง มีแบบฟอร์มที่เกี่ยวข้องในการดำเนินการตามระเบียบ ได้แก่ แบบประเมินค่ากำลังพลและแบบรายงานผลการประเมินค่ากำลังพล โดยแบบประเมินค่ากำลังพล 1 ชุดต่อผู้รับการประเมิน 1 นาย ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ตอน มีผู้เกี่ยวข้องในการบันทึกข้อมูลแบบประเมินค่ากำลังพลคือกำลังพลของหน่วย ซึ่งมีบทบาทเป็นผู้บังคับบัญชา เจ้าหน้าที่ธุรการกำลังพล ผู้รับการประเมิน (กำลังพลทุกนาย) ผู้ประเมินคนที่ 1 ผู้ประเมินคนที่ 2 (ผู้บังคับบัญชาเป็นผู้กำหนดผู้ประเมินคนที่ 1 และผู้ประเมินคนที่ 2) และผู้ประเมินคนที่ 3 (ผู้บังคับบัญชาเป็นผู้ประเมินคนที่ 3) ดังตาราง 1 แสดงการปฏิบัติของผู้ที่เกี่ยวข้องในการบันทึกข้อมูลแบบประเมินค่ากำลังพลตามลำดับ

ตาราง 1 แสดงการปฏิบัติของผู้ที่เกี่ยวข้องในการบันทึกข้อมูลแบบประเมินค่ากำลังพลตามลำดับ

การปฏิบัติ	กำลังพลผู้เกี่ยวข้อง
1. บันทึกข้อมูลผู้รับการประเมิน (ตอนที่ 1)	ผู้รับการประเมิน
2. บันทึกการตรวจสอบคุณสมบัติ (ตอนที่ 2)	เจ้าหน้าที่ธุรการกำลังพล
3. การประเมินค่า (ตอนที่ 3)	ผู้ประเมินคนที่ 1 คนที่ 2 และคนที่ 3 ตามลำดับ
4. สรุปผลการประเมินค่า (ตอนที่ 4)	เจ้าหน้าที่ธุรการกำลังพล

การดำเนินการดังกล่าวไม่สามารถปฏิบัติพร้อมกันได้ เนื่องจากส่วนต่าง ๆ อยู่ในแบบฟอร์มซึ่งเป็นเอกสารแบบประเมินค่ากำลังพลชุดเดียวกันดังที่กล่าวข้างต้น อีกทั้งปัญหาสำคัญอันเนื่องมาจากการประมวลผลข้อมูลที่ผิดพลาดของกำลังพล เช่น การบันทึกข้อมูลด้วยลายมือทำให้มีปัญหาในการอ่านข้อมูลและความผิดพลาดในการคำนวณผลการประเมินค่าของผู้ประเมินแต่ละคน ผู้ศึกษาจึงพัฒนาระบบให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถบันทึกข้อมูลได้เป็นอิสระจากกัน ลดข้อผิดพลาดจากการประมวลผลข้อมูลที่มีสาเหตุมาจากผู้ใช้ และสามารถปฏิบัติได้พร้อมกันเพื่อลดขั้นตอนการส่งต่อแบบประเมินค่ากำลังพล ดังภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพสวิมเลน (Swim Lane Diagram)



ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพสวิมเลน (Swim Lane Diagram)

การคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing) (National Institute of Standards and Technology, 2011) ได้นิยามความหมายของการคำนวณแบบคลาวด์ เป็นตัวแบบสำหรับการเข้าถึงแหล่งรวมทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่ ใช้ร่วมกันและปรับแต่งโครงแบบได้ ประกอบด้วย 5 คุณสมบัติสำคัญ ได้แก่ บริการตนเองตามความต้องการ การเข้าถึงได้หลายช่องทาง การใช้ทรัพยากรร่วมกัน ความยืดหยุ่นในการให้บริการสูง และระบบการวัดบริการ มีตัวแบบการให้บริการคลาวด์ 3 ตัวแบบ คือ บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (Infrastructure-as-a-Service: IaaS) เป็นการให้บริการทรัพยากรคอมพิวเตอร์พื้นฐาน บริการแพลตฟอร์มคลาวด์ (Platform-as-a-Service: PaaS) เป็นการให้บริการแพลตฟอร์มและเครื่องมือเพื่อใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน และบริการซอฟต์แวร์คลาวด์ (Software-as-a-Service: SaaS) เป็นการให้บริการซอฟต์แวร์ที่มีความยืดหยุ่นต่อการเข้าถึงการใช้งานได้หลากหลาย โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องบริหารจัดการโครงสร้างพื้นฐานเอง

ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System : DBMS) เป็นซอฟต์แวร์ระบบที่ใช้ในการจัดการฐานข้อมูล (เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนาวงศ์, 2554) ในบทความนี้ผู้ศึกษาเลือกใช้ระบบจัดการฐานข้อมูลคือ มายเอสคิวแอล (MySQL) ซึ่งเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS: Relational Database Management System) จัดเป็นซอฟต์แวร์ประเภท Open Source Software มีการออกแบบการทำงานในลักษณะของ Client/Server

ภาษาพีเอชพี (PHP : PHP Hypertext Preprocessor) เป็นภาษาบท (คำสั่ง) (Script) ที่ทำงานบนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ โดยคำสั่งต่าง ๆ จะเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่าสคริปต์ สามารถใช้งานร่วมกับภาษาเอชทีเอ็มแอล (HTML) โดยสามารถแก้ไขและสอดแทรกเนื้อหาได้โดยอัตโนมัติ (จันทร์ขจร แซ่อุ้น และณัฐพงษ์ วาริประเสริฐ, 2551)

บูทสเตรป (Bootstrap) เป็นฟรอนต์-เอนด์ เฟรมเวิร์ก (Front-end Framework) ออกแบบมาเพื่อใช้เป็นพื้นฐานของการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งานเว็บไซต์ การใช้งานง่าย สะดวกและรวดเร็ว เหมาะสำหรับผู้พัฒนาทุกระดับ รองรับการแสดงผลของอุปกรณ์ทุกขนาด (สถิตย์ เรียงพิศ, 2556)

ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) เป็นโปรแกรมภาษาแบบ Client Side Script การประมวลผลจะกระทำที่ฝั่งของไคลเอนต์หรือเว็บเบราว์เซอร์ นำมาใช้จัดการในเรื่องการแสดงผล (ชาญชัย สุกอรรถกร, 2556)

เจควอรี (jQuery) เป็นไลบรารี (Library) หรือชุดคำสั่งที่เขียนด้วยภาษาจาวาสคริปต์ เพื่อช่วยให้การเขียนคำสั่งควบคุมและจัดการส่วนย่อยต่าง ๆ นั้นง่ายขึ้น (บัญชา ปะลิละเตสัง, 2556)

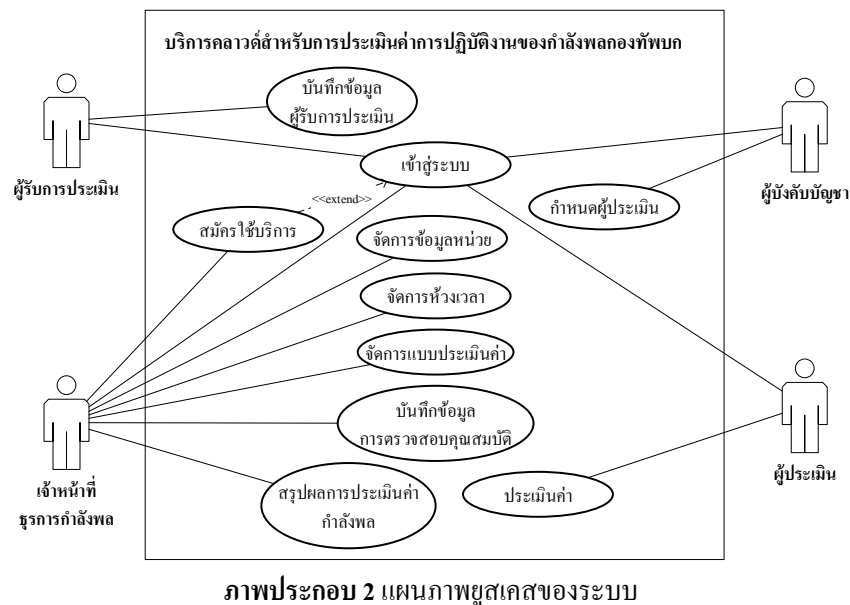
ปัจจุบันพบว่าทีมงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบการประเมินผลการปฏิบัติงานที่มีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมาแก้ปัญหาและพัฒนากระบวนการประเมินดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ดังเช่นการพัฒนาระบบประเมิน 360 องศา สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (ปราชญ์ สงวนศักดิ์, 2557) ซึ่งเป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากรสำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ให้เป็นการประเมินแบบรอบด้าน ระบบพัฒนาด้วยภาษาเอกซ์ทีเอ็มแอลไฟว์ (HTML5) ภาษาพีเอชพี และเจควอรี ทดสอบระบบและใช้แบบประเมินความพึงพอใจกับกลุ่มผู้ใช้งานมีผลการประเมินความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X} = 4.38$) และโปรแกรมระบบสารสนเทศทรัพยากรบุคคลระดับกรม DPIS: Departmental Personnel Information System (สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน, 2556) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการบริหารจัดการเกี่ยวกับข้าราชการและลูกจ้างประจำระดับกรม โดยได้มีการประกาศใช้พระราชบัญญัติระเบียบข้าราชการพลเรือน พ.ศ. 2551 พัฒนา/ปรับปรุงโปรแกรมระบบสารสนเทศทรัพยากรบุคคลเป็น DPIS Version 5.0 ให้สามารถใช้ในการบริหารงานบุคคลให้แก่ส่วนราชการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจนถึงปัจจุบัน

3. วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อพัฒนาบริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น และสามารถสรุปรายงานผลตามแบบประเมินค่ากำลังพลของกองทัพบก รวมทั้งรองรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานของทุกหน่วยงานในกองทัพบก

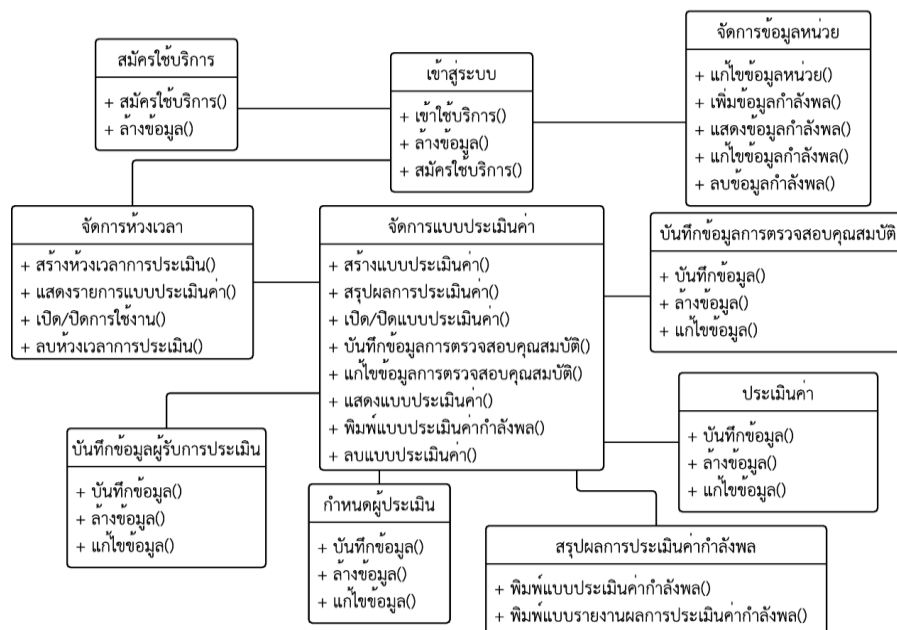
4. วิธีการดำเนินการศึกษา

ผู้ศึกษาได้ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนของวงจรการพัฒนาระบบสารสนเทศ (Systems Development Life Cycle: SDLC) (โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์, 2555) โดยศึกษาระเบียบกองทัพบกกว่าด้วยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก พ.ศ. 2556 เก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้ใช้ ทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบงานใหม่ตามทฤษฎีระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ใช้ภาษา UML (Unified Modeling Language) (พนิดา พานิชกุล, 2552) ซึ่งประกอบด้วยแผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) แสดงขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของระบบ มีกำลังพลเกี่ยวข้องกับระบบปฏิบัติขั้นตอนการทำงานที่แตกต่างกัน ดังภาพประกอบ 2 แผนภาพยูสเคสของระบบ

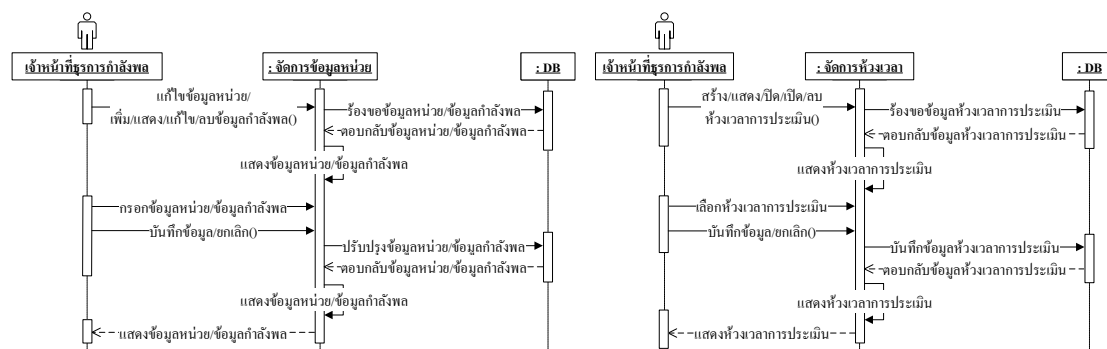


แผนภาพคลาส (Class Diagram) แสดงองค์ประกอบที่มีในแต่ละหน้าเว็บเพจ ดังภาพประกอบ 3

แผนภาพคลาสของระบบ

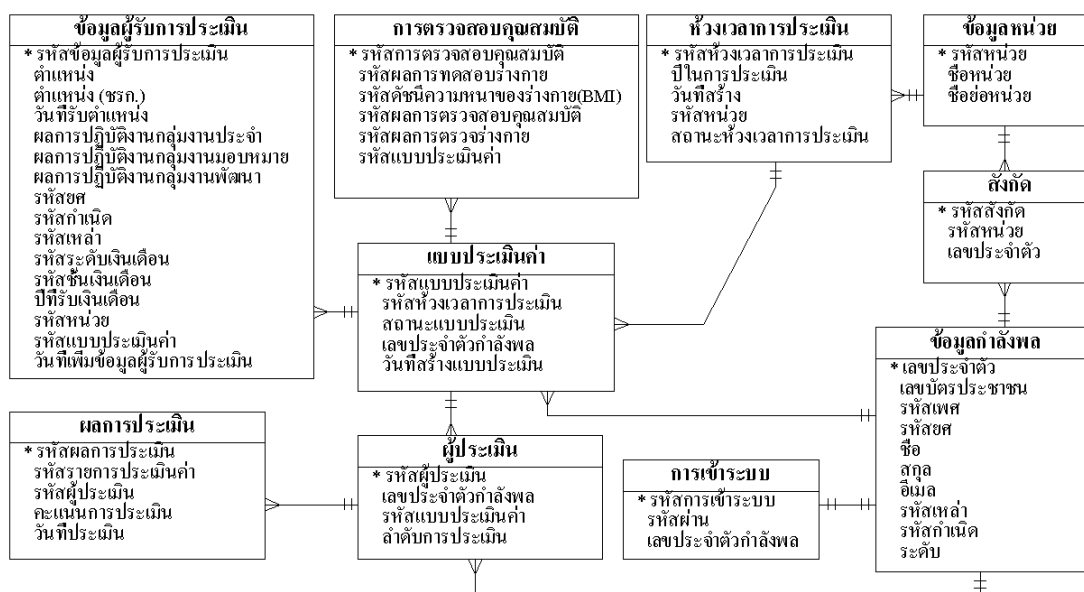


และแผนภาพซีควเอนซ์ (Sequence Diagram) อธิบายการทำงานของยูสเคสเพื่อแสดงขั้นตอนการทำงานและลำดับของการสื่อสารระหว่างอ็อบเจกต์ (Object) ในระบบ ดังภาพประกอบ 4 (ซ้าย) แผนภาพซีควเอนซ์การจัดการข้อมูลหน่วย แสดงขั้นตอนและลำดับการทำงานในการแก้ไขชื่อหน่วย ชื่อย่อหน่วย แสดง/เพิ่ม/ลบ/แก้ไขข้อมูลกำลังพลภายในหน่วย และภาพประกอบ 4 (ขวา) แผนภาพซีควเอนซ์การจัดการห้วงเวลา แสดงขั้นตอนและลำดับการทำงานในการแสดง/สร้าง/ลบห้วงเวลาการประเมินของหน่วยงาน



ภาพประกอบ 4 แผนภาพซีเควนซ์การจัดการข้อมูลหน่วย (ซ้าย) แผนภาพซีเควนซ์การจัดการห้วงเวลา (ขวา)

ผู้ศึกษาได้ออกแบบแผนภาพอีอาร์ (E-R Diagram) (สมศักดิ์ โชคชัยชุตติกุล, 2553) ซึ่งแสดงโครงสร้างของฐานข้อมูลและความสัมพันธ์ของข้อมูล ดังภาพประกอบ 5 แสดงแผนภาพอีอาร์ของระบบ โดยสัญลักษณ์ * หมายถึงกุญแจหลัก (Primary Key) ของตารางความสัมพันธ์ หลังจากผู้ศึกษาได้พัฒนาระบบแล้วจึงนำระบบไปติดตั้งให้บริการบนบริการ โครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ ภายใต้โครงการบริการคลาวด์ภาครัฐ (Government Cloud Service) โดยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน)



ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภาพอีอาร์ของระบบ

ผู้ศึกษาได้ทดสอบระบบโดยกำลังพลกองวิชาฟิสิกส์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จำนวน 20 นาย ใช้แบบประเมินความพึงพอใจตามวิธีของลิเกิร์ต (Likert) (ศิริชัย พงษ์วิชัย, 2555) ประกอบด้วยมาตรอันดับ 5 ระดับ คือ ดีมาก ดี ปานกลาง น้อย และน้อยมาก แบ่งออกเป็น 5 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถในการทำงานของระบบ (Functional Requirement Test) ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ (Functional Test) ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test) ด้านประสิทธิภาพของระบบ (Performance Test) และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ (Security Test) เก็บรวบรวมข้อเสนอแนะและแบบประเมินความพึงพอใจ ทำการวิเคราะห์และแปลผลคะแนน

5. ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบงานใหม่ ผู้ศึกษาได้พัฒนาระบบโดยใช้เทคโนโลยีทูลสแตรป ช่วยให้สามารถสร้างเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ได้อย่างรวดเร็ว โดยมีส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ ดังภาพประกอบ 6 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้จัดการข้อมูลหน่วย ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานของหน่วยงาน โดยสามารถแก้ไขชื่อหน่วย ชื่อย่อหน่วย แสดง/เพิ่ม/แก้ไข/ลบข้อมูลกำลังพลภายในหน่วย และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ประเมินค่า สำหรับบันทึกคะแนนประเมินค่าให้กับผู้รับการประเมิน เมื่อมีการให้คะแนนจากผู้ประเมิน ระบบจะประมวลผลให้ทราบทันที ดังภาพประกอบ 7 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ประเมินค่า

###	เลขประจำตัว	ยศ - ชื่อ - สกุล	อีเมล	หมายเหตุ	จัดการข้อมูล
1	1000000015	พ.อ.(พิเศษ)รักไทย ใจงาม	com1@hotmail.com	ผู้บังคับหน่วย	[Search] [Edit] [Delete]
2	1000000027	พ.อ.หญิง รันดี ชีใหม่	off27@gmail.com	กำลังพล	[Search] [Edit] [Delete]
3	1000000024	พ.ท.หญิง ชูใจ สร้างดี	off2@hotmail.com	กำลังพล	[Search] [Edit] [Delete]
4	1000000021	พ.ต.อ.อาจ รุกรบ	officer1n1@hotmail.com	กำลังพล	[Search] [Edit] [Delete]

ภาพประกอบ 6 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้จัดการข้อมูลหน่วย

ตอนที่ 3 การประเมินค่า

รายการประเมินค่า	ค่าน้ำหนัก	ระดับคะแนน	ค่าน้ำหนัก x ระดับคะแนน
1.1 ปริมาณงาน	20	3	60
1.2 คุณภาพของผลงาน	15	2.5	37.5
1.3 ความทันเวลา	10	3.5	35
1.4 การประหยัด	10	3.5	35
1.5 ความรู้ ความสามารถ			
- ความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติ	5	3.5	17.5

ผลสัมฤทธิ์ 185 ของงาน (400)

พฤติกรรม การปฏิบัติ งาน (100) 78.5

ผลรวม (500) 263.5

เปอร์เซ็นต์ 52.7

ภาพประกอบ 7 แสดงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ประเมินค่า

ผลการประเมินความพึงพอใจของบริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกพบว่า บริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกที่พัฒนาขึ้นมีระดับความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.79$, S.D. = 0.53) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบมีระดับความพึงพอใจดีมาก ($\bar{X} = 4.85$, S.D. = 0.37) ด้านประสิทธิภาพของระบบมีระดับความพึงพอใจดี ($\bar{X} = 3.65$, S.D. = 0.59) ด้านความสามารถในการทำงานของระบบมีระดับความพึงพอใจดี ($\bar{X} = 3.55$, S.D. = 0.60) ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบมีระดับความพึงพอใจปานกลาง ($\bar{X} = 3.50$, S.D. = 0.61) และด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบมีระดับความพึงพอใจปานกลาง ($\bar{X} = 3.40$, S.D. = 0.50) ตามลำดับ ดังตาราง 2

ตาราง 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของบริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ความสามารถในการทำงานของระบบ	3.55	0.60	ดี
ความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.85	0.37	ดีมาก
ความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานระบบ	3.50	0.61	ปานกลาง
ประสิทธิภาพของระบบ	3.65	0.59	ดี
การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ	3.40	0.50	ปานกลาง
รวม	3.79	0.53	ดี

6. สรุปผลการศึกษา

บริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกสามารถช่วยให้กระบวนการประเมินโดยแต่ละผู้ประเมินเป็นอิสระจากกัน ช่วยลดระยะเวลาการส่งต่อแบบประเมินค่ากำลังพล และช่วยลดความผิดพลาดจากการประมวลผลข้อมูลที่มีสาเหตุมาจากผู้ใช้ สำหรับความถูกต้องในการทำงานของระบบพบว่าให้ผลลัพธ์จากการประเมินค่าที่ถูกต้องเช่นเดียวกับการประเมินค่าในการปฏิบัติแบบเดิม โดยมีผลการประเมินความพึงพอใจโดยกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้งานว่ามีความพึงพอใจอยู่ในระดับดี ($\bar{X} = 3.79$, S.D. = 0.53)

7. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาบริการซอฟต์แวร์คลาวด์สำหรับการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกสามารถเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบกให้มีประสิทธิภาพเพิ่มเติมด้วยการเพิ่มฟังก์ชันให้ผู้ประเมินให้กับผู้รับการประเมิน เพื่อความยุติธรรมในการกำหนดผู้ประเมินค่า การอัปเดตไฟล์เอกสารสรุปผลการปฏิบัติงานที่สำคัญแนบไปกับระบบ ตลอดจนการรายงานผลการประเมินค่ากำลังพลไปยังหน่วยเหนือตามสายการบังคับบัญชาผ่านระบบดังกล่าว

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานีวิทย์โทรทัศนกองทัพบก ที่ได้สนับสนุนทุนการศึกษาตามโครงการจัดส่งกำลังพล ทบ. เข้ารับการศึกษาระดับปริญญาโทและปริญญาเอก ในสถาบันการศึกษาของรัฐหรือเอกชนภายในประเทศด้วยทุน ททบ. และขอขอบคุณสำนักงานรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน) ที่ให้การสนับสนุนบริการ โครงสร้าง พื้นฐานคลาวด์ ภายใต้โครงการบริการคลาวด์ภาครัฐ (Government Cloud Service)

9. รายการอ้างอิง

กองทัพบก. 2556. ระเบียบกองทัพบกว่าด้วยการประเมินค่าการปฏิบัติงานกำลังพลของกองทัพบก พ.ศ. 2556.

จันทร์จกร แซ่อู๋, และณัฐพงษ์ วารีประเสริฐ. 2551. **Web Programming ด้วย Dreamweaver CS3, PHP**

และ **AJAX**. กรุงเทพฯ: เคทีพี.

ชาญชัย ศุภอรธกร. 2556. **สร้างเว็บแอปพลิเคชัน PHP MySQL + AJAX jQuery ฉบับสมบูรณ์**. กรุงเทพฯ: ชิมพลิฟาย.

บัญชา ปะสิละเตสัง. 2556. **สร้างเว็บไซต์ด้วย HTML5 ร่วมกับ CSS3 และ jQuery**. กรุงเทพฯ: วิ.พรินท์ (1991).

ปราชญ์ สงวนศักดิ์. 2557. “การพัฒนาแบบประเมิน 360 องศา สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.”

PULINET Journal, 2, 3: 69-76.

พนิดา พานิชกุล. 2552. **การพัฒนาระบบเชิงวัตถุด้วย UML**. กรุงเทพฯ: เคทีพี.

ศิริชัย พงษ์วิชัย. 2555. **การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยคอมพิวเตอร์**. พิมพ์ครั้งที่ 23. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถิตย์ เรียนพิศ. 2556. **Bootstrap and jQuery**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2558, จาก <https://leanpub.com/bootstrapjquery/read>

สมศักดิ์ โชคชัยชุตกุล. 2553. **คู่มือการออกแบบระบบงานฐานข้อมูล**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.

สำนักงานคณะกรรมการข้าราชการพลเรือน. 2556. **คู่มือการใช้โปรแกรม ระบบสารสนเทศทรัพยากรบุคคล ระดับกรม/จังหวัด ในการบริหารผลการปฏิบัติงานและเลื่อนเงินเดือนสำหรับพนักงานราชการ**.

เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์. 2554. **คู่มือเรียนวิเคราะห์และออกแบบฐานข้อมูล DATABASE DESIGN**.

กรุงเทพฯ: โปรวิชั่น.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. 2555. **การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม)**. กรุงเทพฯ: วิ.พรินท์ (1991).

National Institute of Standards and Technology. 2011. “The NIST Definition of Cloud Computing.” **NIST**

Special Publication 800-145, Retrieved June 20, 2015, from

<http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>

**การวิเคราะห์ออกแบบ บริการคลาวด์เพื่อการสำรวจเก็บข้อมูลทางแผนที่
และติดตามการปฏิบัติงานของกรมแผนที่ทหาร**
**THE ANALYSIS AND DESIGN OF A CLOUD SERVICE FOR THE MAP
DATA SURVEY, STORE AND OPERATION TRACKING OF
ROYAL THAI SURVEY DEPARTMENT**

ร้อยเอก ก่อพงศ์ แก่นโนนสังข์

**นักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม**

E-mail : pao5342@gmail.com

เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

E-mail : thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์มีความสำคัญต่อภารกิจของกรมแผนที่ทหาร หน้าที่หลักของกรมแผนที่ทหารคือการสำรวจและรวบรวมจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศตามมาตรฐานสากล ซึ่งปัจจุบันกรมแผนที่ทหารได้มีการจัดชุดเก็บข้อมูลตามพื้นที่ในแต่ละส่วนของประเทศไทย แต่เนื่องจากมีปัญหาหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นอุปสรรคการทำงานที่มีไม่เพียงพอต่อผู้สำรวจ พื้นที่การสำรวจมีขนาดใหญ่และข้อมูลที่มีปริมาณมาก รวมถึงระยะเวลาในการทำงานมีเวลาจำกัด บทความนี้จึงเสนอการวิเคราะห์ออกแบบบริการซอฟต์แวร์คลาวด์เพื่อการสำรวจเก็บข้อมูลทางแผนที่และติดตามการปฏิบัติงานของกรมแผนที่ทหาร มีจุดเด่นตรงที่สามารถแสดงตำแหน่งปัจจุบันของผู้สำรวจและพิกัดที่ต้องการเก็บข้อมูลอีกทั้งยังแก้ไขข้อมูลได้ทันที ผลการศึกษาที่ได้รับมีทั้งเทคนิคที่ใช้ความหลากหลายของรูปแบบการนำเสนอทั้งแผนที่และเครื่องมือในการอำนวยความสะดวกในการใช้งานต่างๆ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการสำรวจและเก็บข้อมูลทางแผนที่ทหารได้

คำสำคัญ: การคำนวณแบบคลาวด์,ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์, การเก็บรวบรวมข้อมูล,
การติดตามการปฏิบัติงาน

ABSTRACT

Geographic Information Systems (GIS) play a critical role in the missions of Royal Thai Survey Department. The main function of Royal Thai Survey Department is to survey and compile standard-based GIS

database. Currently, Royal Thai Survey Department maintains the map data survey of each region in the country. However, there have had many problems such as the inadequate number of equipment for surveyors, too broad areas of surveys, and the plenty of data, as well as working time restriction. Hence, this paper presents the analysis and design of a cloud software as a service (SaaS) for exploring, collecting and tracking the operation of Royal Thai Survey It features the ability to display the surveyor's current location and desired coordinate. Besides data can be edited immediately. The results obtained techniques using a variety of presentation forms on maps and tools to facilitate deployment. Also, it can be optimized to survey and collect information on military maps.

KEYWORDS: Cloud computing, Geographic Information System, Data collection, Operation tracking

1. บทนำ

กรมแผนที่ทหาร เป็นหน่วยงานระดับกรมที่ถือกำเนิดขึ้นเพื่อสนับสนุนหน่วยทหารในด้านการทำแผนที่อย่างเป็นระบบ เพื่อความมั่นคงภายในประเทศ เป็นหลัก ซึ่งทางหน่วยงานจำเป็นต้องมีระบบข้อมูลและสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการและการตัดสินใจในด้านการปฏิบัติการจัดทำแผนที่ทางทหารที่มีประสิทธิภาพ ทั้งยังต้องสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการสนับสนุนการปฏิบัติงานได้ทันที จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบข้อมูลในด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่จะทำการพัฒนาขึ้น ทั้งการพัฒนาระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ (GIS Database) การพัฒนาระบบวิเคราะห์และประมวลผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Application) เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์และประมวลผลฐานข้อมูลทางด้านแผนที่ที่พัฒนาขึ้น โดยเฉพาะการออกแบบระบบนำเข้าแก้ไข และปรับปรุง เพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลที่เป็นต่อการสนับสนุนการตัดสินใจ และเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) เพื่อให้บุคลากรที่เกี่ยวข้อง สามารถวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหา ผลการดำเนินงาน รวมถึงทรัพยากรที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาในแต่ละพื้นที่ได้ ในการปฏิบัติงานของกรมแผนที่ทหาร ทำการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการอัพเดทฐานข้อมูลเดิม ก่อนที่จะนำมาให้บริการ โดยการทำงานคือแบ่งชุดสำรวจออกเป็นชุดๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนคนและพื้นที่สำรวจที่มีในแต่ละปี ทำการสำรวจตามพื้นที่งานที่แบ่งไว้โดยการลงพื้นที่ไปเก็บข้อมูลตามสถานที่ต่างๆ รวมถึงถ่ายรูปสถานที่นั้นๆ เนื่องจากพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ปริมาณข้อมูลต่อพื้นที่มีปริมาณมาก ขั้นตอนการทำงานดังกล่าวจึงมีความไม่สะดวกหลายประการไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือที่ใช้สำรวจเก็บข้อมูลมีราคาสูงและไม่เพียงพอต่อผู้สำรวจรวมถึงการดูแลรักษา การจัดการข้อมูลมีหลายขั้นตอนมากเกินไป พื้นที่การปฏิบัติงานอยู่ห่างไกลกับส่วนกลาง ทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูล บทความนี้จะนำเสนอระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระบบการคำนวณแบบคลาวด์เพื่อการสำรวจเก็บข้อมูลแผนที่และติดตามการปฏิบัติงานกล่าวคือระบบจะช่วยแก้ปัญหาทางด้านเครื่องมือการทำงานที่ไม่เพียงพอ ซึ่งผู้สำรวจสามารถใช้สมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตทำงานเก็บข้อมูลแทน อีกทั้งระบบยังมีเครื่องมือช่วยเหลือในการสำรวจเก็บข้อมูลแผนที่ทางทหาร ทำให้เห็นภาพรวมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น และสามารถแบ่งแยกการทำงานได้ว่า ข้อมูลไหนสำรวจแล้วข้อมูลไหนยังไม่สำรวจ แสดงตำแหน่งที่เราอยู่ปัจจุบันและตำแหน่งที่ต้องทำการสำรวจ เพื่อสามารถวางแผนเส้นทางการทำงาน ทำให้ใช้เวลาในการเก็บข้อมูลต่อพื้นที่น้อยลง

2. แนวคิด ทฤษฎี และระบบที่เกี่ยวข้อง

Cloud Computing คือบริการที่ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูล และระบบออนไลน์ต่างๆจากผู้ให้บริการ เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้ง ดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายเอง ซึ่งก็มีทั้งแบบบริการฟรีและแบบเก็บเงิน การบริการบนระบบการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆสามารถ แบ่งรูปแบบของชั้น ดังนี้

Software as a Service (SaaS) เป็นการที่ใช้หรือเช่าใช้บริการซอฟต์แวร์หรือแอปพลิเคชัน ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยประมวลผลบนระบบของผู้ให้บริการ ทำให้ไม่ต้องลงทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์เอง ไม่ต้องพะวงเรื่องค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบ เพราะซอฟต์แวร์จะถูกเรียกใช้งานผ่าน Cloud จากที่ไหนก็ได้ Platform as a Service (PaaS) สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันนั้น หากเราต้องการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งรันบนเซิร์ฟเวอร์ หรือ Mobile application ที่มีการประมวลผลทำงานอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ เราก็ต้องตั้งเซิร์ฟเวอร์ เชื่อมต่อระบบเครือข่าย และสร้างสภาพแวดล้อม เพื่อทดสอบและรันซอฟต์แวร์ และแอปพลิเคชัน เช่น ติดตั้งระบบฐานข้อมูล, Web server, Runtime, Software Library, Frameworks ต่างๆ เป็นต้น จากนั้นก็อาจยังต้องเขียนโค้ดอีกจำนวนมาก Infrastructure as a Service (IaaS) เป็นบริการให้ใช้โครงสร้างพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์อย่าง หน่วยประมวลผล ระบบจัดเก็บข้อมูล ระบบเครือข่าย ในรูปแบบระบบเสมือน (Virtualization) ข้อดีคือองค์กรไม่ต้องลงทุนสิ่งเหล่านี้เอง, ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างระบบไอทีขององค์กรในทุกรูปแบบ, สามารถขยายได้ง่าย ขยายได้ทีละนิดตามความเติบโตขององค์กรก็ได้ และที่สำคัญ ลดความยุ่งยากในการดูแล เพราะหน้าที่ในการดูแล จะอยู่ที่ผู้ให้บริการ (ศรีสมรภัฏ อินทจันทร์ขย, 2553)

อาร์คจีไอเอส ออนไลน์ (ArcGIS Online) ได้เปิดให้บริการทั้งในส่วนซอฟต์แวร์ประมวลผล โครงสร้างพื้นฐานด้านไอที และแอปพลิเคชัน โดยผู้ใช้งานสามารถขอใช้บริการได้ตามความต้องการและความเหมาะสม (On Demand) ทั้งยังมีความยืดหยุ่นและสามารถเชื่อมโยง ระบบการคำนวณแบบคลาวด์เข้ากับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่ใช้ภายในหน่วยงานให้สามารถทำงานร่วมกันได้นอกจากนี้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระบบการคำนวณแบบคลาวด์จะยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและคุณค่าการทำงานให้เพิ่มขึ้นอีกด้วย เช่น ด้วยความสามารถของซอฟต์แวร์ ArcGIS 10 ผู้ใช้บริการจะสามารถเช่าหรือใช้บริการเพื่อค้นหาหรือแบ่งปันข้อมูลแผนที่ รวมทั้งบริการอื่นๆ ผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อต่างๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ทั้งยังเปลี่ยนรูปแบบการส่งข้อมูลรูปแบบใหม่ให้เกิดขึ้นได้ในทุกที่ทุกเวลาโดยผู้ใช้งานที่เป็นบุคคลทั่วไปเป็นผู้ส่งข้อมูลมายังส่วนกลางอาร์คจีไอเอสออนไลน์ยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานบน Desktop ได้เป็นอย่างดี ไม่ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ที่หลากหลายมากขึ้น รวมทั้งเป็นส่วนหนึ่งของ ArcGIS Platform ที่สามารถเชื่อมต่อและสร้าง Web GIS ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระบบการคำนวณแบบคลาวด์ สามารถสนับสนุนการทำงานของนักพัฒนา (Developer) ในการพัฒนา GIS Application ต่างๆผ่านทาง Web API หรือ Native SDK ซึ่ง API และ SDK เหล่านี้สามารถนำมาใช้งานและสร้าง GIS Application ได้ฟรี รวมทั้งเชื่อมต่อกับ ArcGIS Platform ได้อย่างสมบูรณ์ (Thai ArcGIS, 2015)

MySQL คือ ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS) ที่กำลังเป็นที่นิยมมาก ในปัจจุบัน นักพัฒนาระบบฐานข้อมูลที่เคยใช้ต่างยอมรับความสามารถ ความรวดเร็วการรับรองจำนวนผู้ใช้และขนาดของข้อมูลจำนวนมาก ทั้งยังสนับสนุนการใช้งานบนระบบปฏิบัติการ มากมาย (ชาญชัย สุภอรรถกร, 2551)

PHPคือภาษาคอมพิวเตอร์จำพวก scripting language ภาษาจำพวกนี้คำสั่งต่างๆจะเก็บอยู่ในไฟล์ที่เรียกว่า script และเวลาใช้งานต้องอาศัยตัวแปลชุดคำสั่ง ตัวอย่างของภาษาสคริปต์ก็เช่น JavaScript , Perl เป็นต้น ลักษณะของ PHP ที่แตกต่างจากภาษาสคริปต์แบบอื่นๆ คือ PHP ได้รับการพัฒนาและออกแบบมาเพื่อใช้งานในการสร้างเอกสารแบบ HTML โดยสามารถสอดแทรกหรือแก้ไขเนื้อหาได้โดย ระบบที่เกี่ยวกับ (จิราวุธ วารินทร์, 2556)

งานทางด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

โครงการสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ กรมแผนที่ทหาร ระบบการพัฒนาข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานชุด L7018สู่ระบบฐานข้อมูล Feature Level Database โดยการพัฒนาข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ให้ตอบสนองความต้องการในการประยุกต์ใช้งาน ทางด้าน GIS ที่มีมากขึ้น โดยร่วมกับ National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) ในการพัฒนาชุด ข้อมูลดังกล่าวภายใต้ชื่อ “L7018 Reformat Data” โครงการพัฒนาข้อมูล “L7018 Reformat Data” ได้ใช้ระบบ Feature Level Database (FLDB) ซึ่ง เป็นการจัดเก็บฐานข้อมูลแบบใหม่ที่ NGA ได้พัฒนาขึ้น (Royal Thai Survey Department, 2012)

โครงการการพัฒนาระบบสนับสนุนการบริหารและการตัดสินใจในการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย ปัจจุบันกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ยังไม่มีการพัฒนาระบบข้อมูลและสารสนเทศทางด้านสาธารณภัยอย่างเป็นระบบ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบข้อมูลในด้านต่างๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่จะทำการพัฒนาขึ้น ทั้งการพัฒนาระบบข้อมูลเชิงพื้นที่ (GIS Database) การพัฒนาระบบวิเคราะห์และประมวลผลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS Application) เพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางด้านสาธารณภัยที่พัฒนาขึ้น โดยเฉพาะการออกแบบระบบนำเข้า แก้ไข และปรับปรุง เพื่อใช้ในการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการสนับสนุนการตัดสินใจ และเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูล เชิงพื้นที่ (Spatial Data) เพื่อให้บุคลากรที่เกี่ยวข้อง สามารถวิเคราะห์ถึงสภาพปัญหาผลการดำเนินงาน รวมถึงทรัพยากรที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาในแต่ละพื้นที่ได้อย่างเป็นพลวัต โดยการนำข้อมูลหลากหลายประเภทมาซ้อนทับกัน ทั้งข้อมูลในเชิงอุปสงค์ (Demand) เช่น สภาพปัญหา ความรุนแรงของพิบัติภัย เช่น ภัยแล้ง อุทกภัย น้ำท่วม - ดินถล่ม ภัยจากสารเคมี ฯลฯ และข้อมูลในเชิงอุปทาน (Supply) เช่น หน่วยงาน กำลังคน เครื่องมือในการปฏิบัติงาน รวมถึงงบประมาณในแต่ละพื้นที่ ทำให้หน่วยงานส่วนกลาง สามารถวางแผนในการบริหารและการตัดสินใจในการตอบสนองต่อการกิจในความรับผิดชอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สมบัติ อยู่เมือง, 2558)

3. วัตถุประสงค์การศึกษา

เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) ให้เหมาะสมกับการใช้งานและครอบคลุมกิจกรรมในหน่วยงาน

4. วิธีการดำเนินการศึกษา

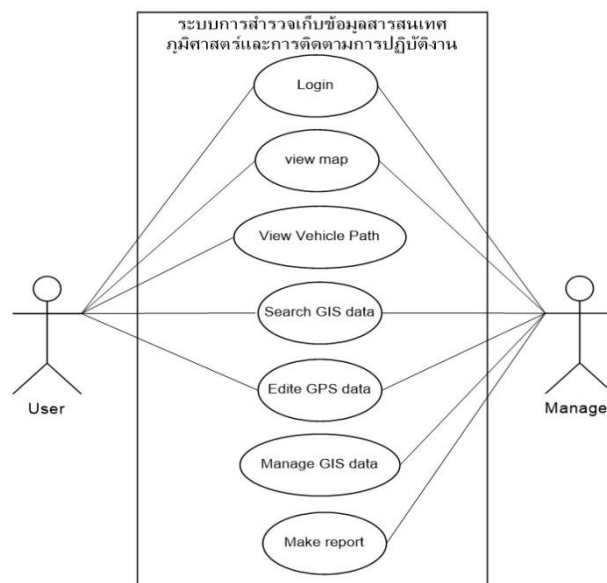
การดำเนินการพัฒนาระบบดังกล่าว เป็นการพัฒนาขึ้นจากการผสมผสานระหว่าง ซอฟต์แวร์อาร์คจีไอเอส (ArcGIS)และ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในระบบการคำนวณแบบคลาวด์ซึ่งมีความยืดหยุ่นและสามารถ

เชื่อมโยงการทำงานภายในหน่วยงานให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น มีรายละเอียดและวิธีการดำเนินการ ดังนี้ 1) ศึกษาโครงสร้างของการทำงานสำรวจของกรมแผนที่ทหาร 2) เก็บข้อมูลการทำงานรวมถึงข้อผิดพลาดของระบบ 3) ศึกษาเกี่ยวกับการให้บริการคลาวด์ เพื่อนำมาพัฒนาให้เข้ากับระบบสำรวจ 4) ทำการพัฒนาระบบและทดสอบการใช้งานจริง 5) นำข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริงโดยใช้ระบบที่พัฒนามาวิเคราะห์และประเมินระบบ

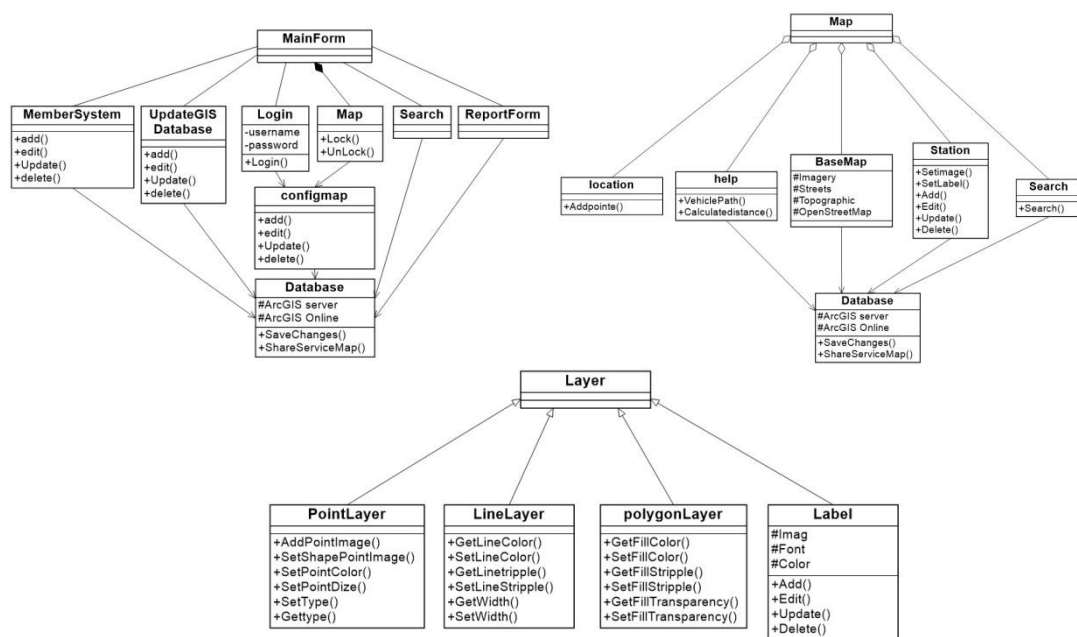
5. การวิเคราะห์และออกแบบ

ในการดำเนินการศึกษาระบบการบริการคลาวด์เพื่อการสำรวจเก็บข้อมูลและการติดตามการปฏิบัติงานของกรมแผนที่ทหารนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การทำงานนั้นถูกต้องและรวดเร็ว ลดขั้นตอนการปฏิบัติงานของการติดตามงาน การวิเคราะห์และการพัฒนาระบบงานดังกล่าว ได้ออกแบบระบบโดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์และออกแบบระบบด้วยภาษายูเอ็มแอลแสดงในภาพประกอบที่ 1 – 6

ภาพประกอบ 1 แสดงแผนภาพยูสเคส (use case diagram) ซึ่งเป็นแผนภาพที่ใช้แสดงถึงขั้นตอนการทำงานที่สำคัญของระบบ หรือแสดงหน้าที่และงาน ที่ระบบจะต้องปฏิบัติ

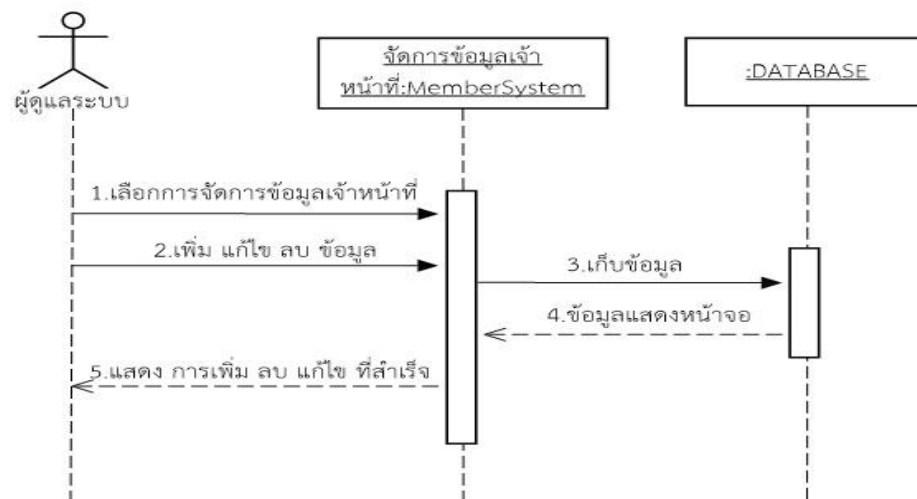


ภาพประกอบ 1 แผนภาพยูสเคส (use case diagram)



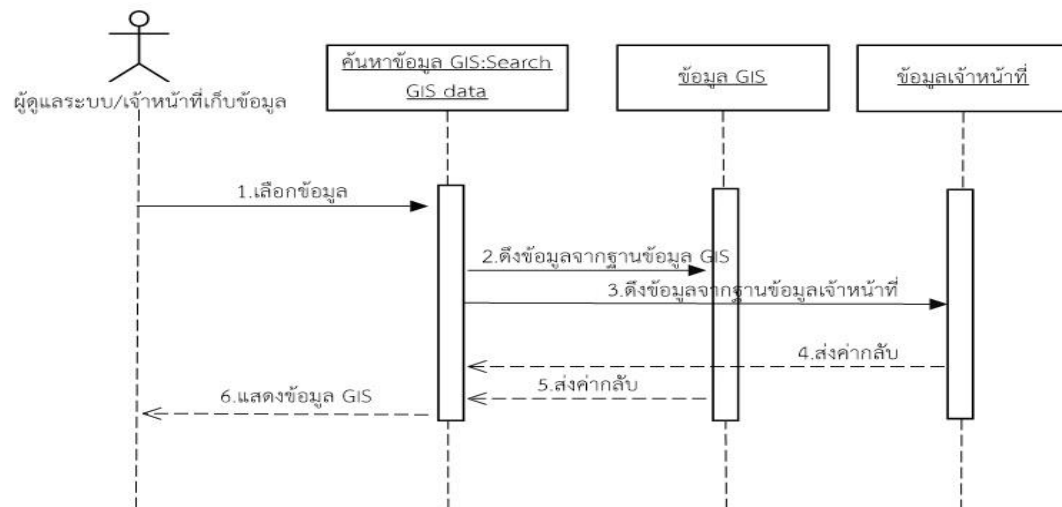
ภาพประกอบ 2 แผนภาพคลาส (class diagram)

ภาพประกอบ 3 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ (Sequence Diagram) ผู้ดูแลระบบ จัดการข้อมูลของเจ้าหน้าที่
สำรวจเก็บข้อมูลทางทหาร



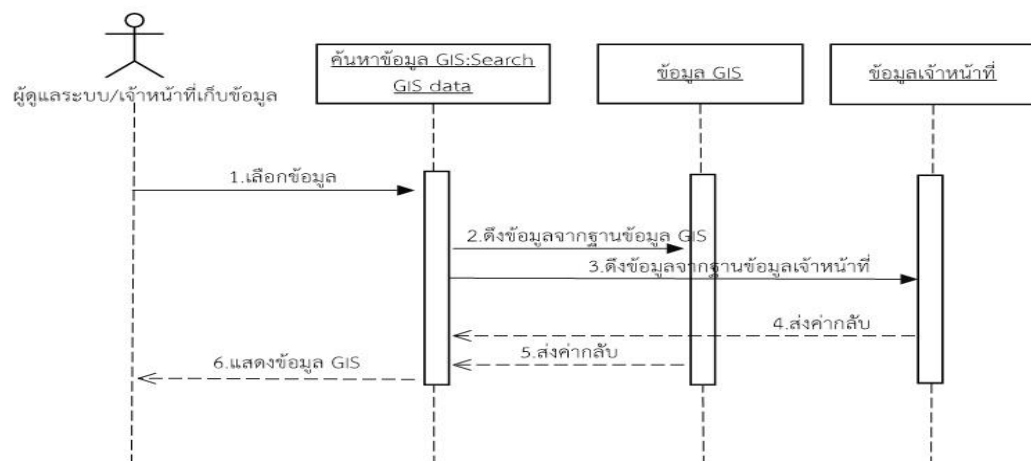
ภาพประกอบ 3 แผนภาพซีเควนซ์ข้อมูลเจ้าหน้าที่

ภาพประกอบ 4 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ (Sequence Diagram) ผู้ดูแลระบบและผู้สำรวจ ค้นหาข้อมูล
และตำแหน่งบนแผนที่



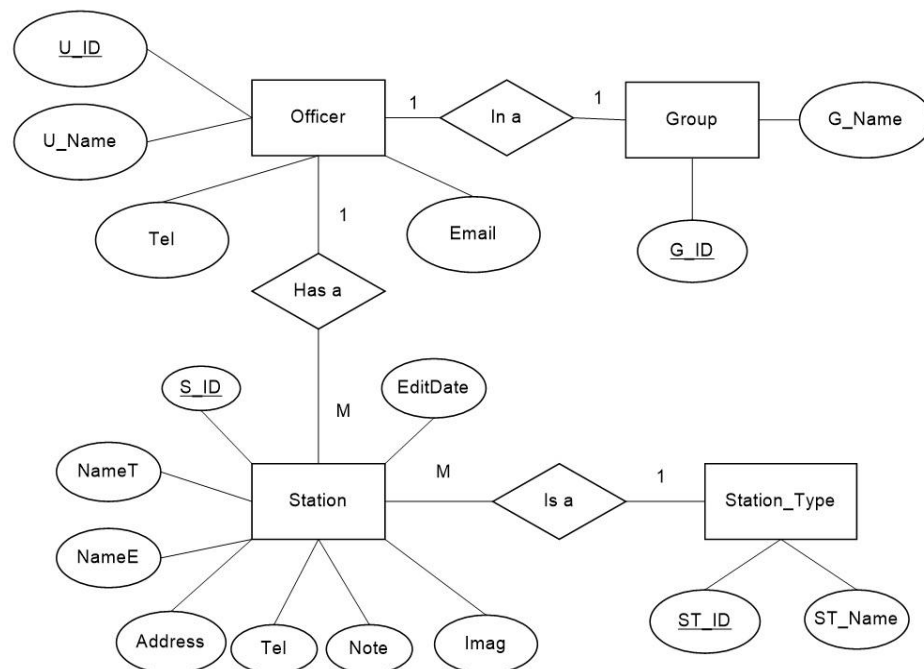
ภาพประกอบ 4 แผนภาพซีเควนซ์ การค้นหา

ภาพประกอบ 5 แสดงแผนภาพซีเควนซ์ (Sequence Diagram) ผู้ดูแลระบบตรวจสอบการทำงานของ
ผู้สำรวจเก็บข้อมูลแผนที่



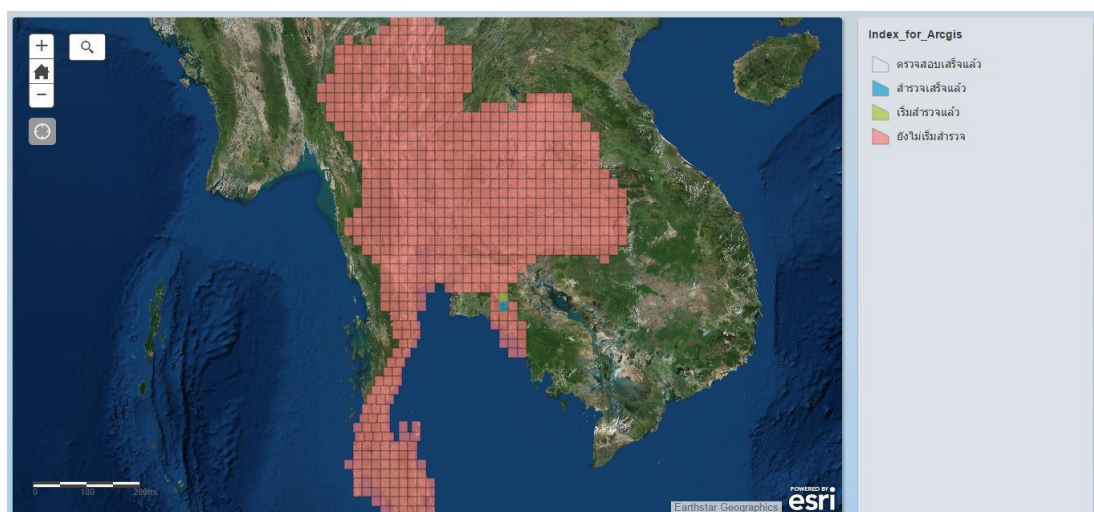
ภาพประกอบ 5 แผนภาพซีเควนซ์การรายงาน

ภาพประกอบ 6 แสดงแผนภาพอีอาร์ ไดอะแกรม (E-R diagram) ของระบบบริการคลาวด์เพื่อการ
สำรวจเก็บข้อมูลทางแผนที่และติดตามการปฏิบัติงานของกรมแผนที่ทหาร

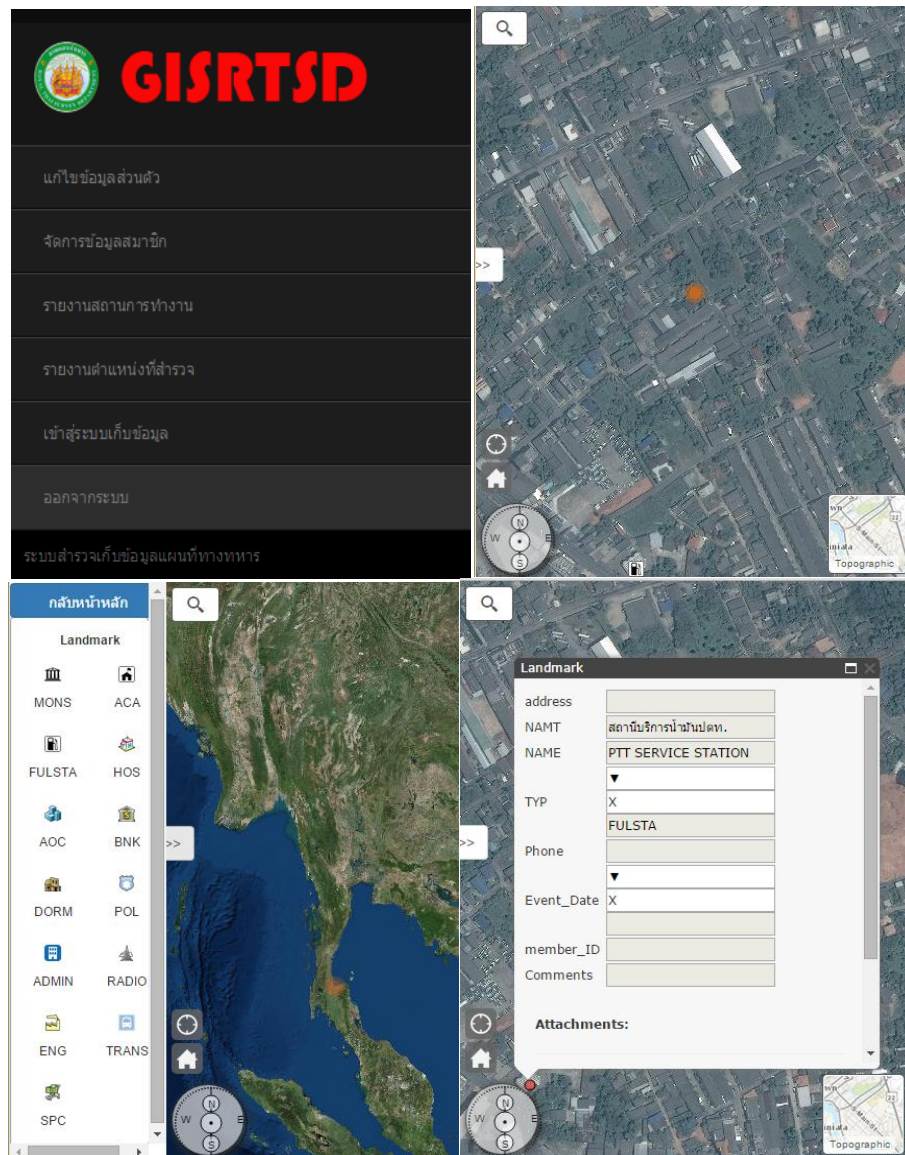


ภาพประกอบ 6 แผนภาพ อีอาร์ ไดอะแกรม (E-R diagram) ของระบบ

ในส่วนของการออกแบบส่วนต่อประสานกราฟฟิคกับผู้ใช้มีลักษณะสำคัญดังนี้ 1)เชื่อมโยงข้อมูลระหว่างเซิร์ฟเวอร์และผู้ใช้งานบนเดสก์ท็อป 2)ตัวแอปพลิเคชัน รองรับการทำงานบนอุปกรณ์สื่อสารรูปแบบต่างๆ 3) สามารถดูแผนที่, เก็บข้อมูล, จัดทำรายงาน และวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศน์ทางภูมิศาสตร์ 4)สามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านทาง เว็บเบราว์เซอร์ ไม่ว่าจะเป็น สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต 5)ช่วยให้การทำงานมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือและทำให้เจ้าหน้าที่เห็นภาพรวมในการทำงาน 6) มีการจัดการข้อมูลแบบรวมศูนย์ สามารถตั้งค่าการทำงาน และการเริ่มต้นการใช้งานแอปพลิเคชันได้ทันทีแสดงดังภาพประกอบที่ 7 – 9



ภาพประกอบ 7 แสดงหน้าจอสำหรับดูรายงานความคืบหน้าในการสำรวจเก็บข้อมูล



ภาพประกอบ 8 แสดงหน้าจอหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูลแผนที่

6. สรุปผลการศึกษา

จากการพัฒนาระบบดังกล่าว ได้ทำการทดสอบระบบด้วยการลงพื้นที่สำรวจโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถบอกตำแหน่งปัจจุบันของผู้สำรวจและแสดงตำแหน่งสถานที่ที่ต้องเก็บข้อมูลได้ การเก็บข้อมูลสามารถทำได้ในขณะปฏิบัติงาน มีเครื่องมือช่วยเหลือเพื่อใช้ในการวางแผนการเดินทาง ผลลัพธ์ดังกล่าว ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลแผนที่ทางทหารผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจะมีความถูกต้องสูง และสามารถนำข้อมูลมาประกอบการวิเคราะห์และวางแผนการดำเนินการเก็บข้อมูลได้ อีกทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานเพื่อให้สอดคล้องระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับพื้นที่ในการสำรวจ รวมถึงสาเหตุของปัญหาสำหรับใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขที่เหมาะสมต่อไปของระบบงาน

7. ข้อเสนอแนะ

เมื่อพัฒนาระบบการสำรวจเก็บข้อมูลแผนที่ทางทหารขึ้นมาแล้วนั้นควรมีการทดสอบระบบจากผู้ใช้งานจริงก่อน เนื่องจากการเก็บข้อมูลมีความสำคัญมาก ผิดพลาดไม่ได้ เนื่องจากการเก็บข้อมูลเป็นการเก็บข้อมูล ณ สถานที่จริง อีกทั้งข้อมูลที่เก็บหากมีความผิดพลาดขึ้นมากการกลับไปแก้ไขอีกจะเป็นการเสียเวลาและงบประมาณสูง ดังนั้นควรมีการตรวจสอบทดลองการทำงานในบางพื้นที่ก่อน และทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ควรมีการประเมินผลจากผู้ปฏิบัติงานสำรวจ

8. รายการอ้างอิง

จิราวุธ วารินทร์. 2556. **Advanced PHP พร้อมตัวอย่างงาน E-Commerce**. กรุงเทพฯ: Simplify.

ชาญชัย ศุภอรรถกร. 2551. **PHP + MySQL**. กรุงเทพฯ: ชัคเชส มีเดีย.

ศรีสมรค์ อินทจันทร์ขง. 2553. “การประมวลผลในกลุ่มเมฆ (Cloud Computing)”. วารสารคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.16-18.

สมบัติ อยู่เมือง. “โครงการพัฒนาระบบสนับสนุนการบริหารและการตัดสินใจในการจัดการพื้นที่เสี่ยงภัยกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย”. สืบค้นเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2015จาก

http://www.gisthai.org/research/disaster_proj.html.

สุเพชร จิรขจรกุล. 2555. **เรียนรู้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยโปรแกรม ARCGIS 10.1 FOR DESKTOP**.

กรุงเทพฯ:บริษัท เอ.พี.กราฟิเคิลส์และการพิมพ์ จำกัด.

Royal Thai Survey Department . 2012. “**Feature Level Database (FLDB)**”. Retrieved August 8, 2015, from

<https://thegis.wordpress.com>.

Thai ArcGIS User Community. 2015. “**ArcGIS for Developers**”. Retrieved August 8, 2015, from

<http://www.esrith.com/th/index.html>

**แนวทางการสร้างเนื้อหาวิดีโอดิจิทัลและการส่งมอบผ่านคลาวด์:
กรณีศึกษาการสร้างความเข้าใจและความตระหนักในการคำนวณแบบคลาวด์**

**A GUIDELINE FOR DIGITAL VIDEO CONTENT CREATION
AND DELIVERY ON CLOUD: COMPREHENSION AND REALIZATION
IN CLOUD COMPUTING AS A CASE STUDY**

อนุชา อยู่เจริญ

นักศึกษานิเทศศาสตร์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : anucha.yoocharoen@gmail.com

ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ปัญหาที่ศึกษาคือการพัฒนาวิดีโอดิจิทัลในปัจจุบันยังเป็นแบบออฟไลน์ ก่อให้เกิดปัญหาการใช้งานข้อมูลเพราะจัดเก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์เพียงเครื่องเดียวและปัญหาในการย้ายข้อมูลหรือการกู้ข้อมูลที่เสียหายทำได้ล่าช้าขาดความต่อเนื่อง และยังประสบปัญหาค่าลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ที่ค่อนข้างสูง ผู้ศึกษาจึงเสนอแนวทางการพัฒนาวิดีโอดิจิทัลโดยใช้เทคโนโลยีคลาวด์ได้แก่บริการคลาวด์สำหรับออกแบบ จัดเก็บและเผยแพร่งานกราฟิก และทำการวัดผลการศึกษาโดยการนำแนวทางที่เสนอไปใช้ในการผลิตวิดีโอดิจิทัลในรูปแบบของอินโฟกราฟิก แอนิเมชันที่นำเสนอแนวคิดการคำนวณแบบคลาวด์ นอกจากนี้ยังมีการนำวิดีโอที่พัฒนาขึ้นไปทดลองกับผู้ชมจำนวน 5 คนพบว่าผู้ชมสามารถเข้าใจเนื้อหาได้โดยง่ายและรวดเร็ว

คำสำคัญ: แนวทาง, การคำนวณแบบคลาวด์, การสร้าง, วิดีโอดิจิทัล, การส่งมอบ

ABSTRACT

The studied problem is that digital videos have been still offline these days causing data usage problem because it has been stored in a single computer and problem in data migration or delayed and discontinued data restoring as well as expensive software licenses. Therefore, this study proposes a guideline for digital video development based on cloud technologies, which are cloud services for designing, storing and

publishing graphic work. The evaluation was conducted by utilizing the proposed guideline to create digital video in the form of infographic animation, which present the concepts of cloud computing. Yet, the animation was presented to 5 watchers and found that they could understand the cloud computing concepts in a short time.

KEY WORDS: Guideline, Cloud computing, Creation, Digital Video Content, Delivery

1. บทนำ

การใช้งานบริการการคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing) กำลังเติบโตอย่างต่อเนื่อง ปัญหาของการขาดแนวทางการพัฒนานับคลาวด์คือการทำงานแต่ละครั้งในงานออกแบบกราฟิกเป็นงานที่ใช้เวลานานอีกทั้งเทคโนโลยีของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องต้องมีการอัปเดตของโปรแกรมอีกทั้งการซื้อโปรแกรมยังต้องเป็นการต่อโปรแกรมแบบรายปีซึ่งค่อนข้างมีค่าใช้จ่ายสูงในแต่ละครั้งเมื่อโปรแกรมมีการพัฒนาขึ้น แต่ในการใช้การคำนวณแบบคลาวด์ได้ปรับลดเรื่องค่าใช้จ่าย เนื่องจากจะมีการจ่ายทุกครั้งที่ใช้โปรแกรมเมื่อมีการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบโดยตรงและเมื่อมีการพัฒนาโปรแกรมในรูปแบบแพตช์ไฟล์ (Patch File) ยังสามารถพัฒนาตัวโปรแกรมได้เองโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อโปรแกรมใหม่ อีกทั้งเมื่อมีการตั้งค่ารูปแบบโปรแกรมผ่านระบบยังสามารถนำไปใช้อีกเครื่องอื่นได้เพียงแค่เข้าสู่ระบบโดยชื่อของผู้ใช้ที่ถูกลงทะเบียนไว้รวมไปถึงข้อมูลที่บันทึกไว้ผ่านการคำนวณแบบคลาวด์ยังสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ได้ทำการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน พบว่ายังไม่มีแนวทางในการสร้างงานกราฟิกที่ใช้เทคโนโลยีคลาวด์อย่างเป็นระบบ การศึกษาครั้งนี้จึงเสนอแนวทางการผลิตเนื้อหาวิดีโอทัศนคติจิตัลโดยอาศัยเทคโนโลยีคลาวด์ และการส่งมอบเนื้อหาดังกล่าวผ่านบริการคลาวด์อย่างเป็นระบบ เพื่อช่วยส่งเสริมการนำเทคโนโลยีการคอมพิวเตอร์แบบคลาวด์มาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตภาพเคลื่อนไหวให้แพร่หลายมากยิ่งขึ้น

จากการได้สำรวจข้อมูลจากสื่อวีดิทัศน์ที่มีอยู่ ได้พบว่ายังขาดวีดิทัศน์ที่ให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับแนวความคิดการคำนวณแบบคลาวด์อยู่ อีกทั้งยังไม่ใช้การให้ข้อมูลในด้านการศึกษา หากเป็นเพียงการให้ความรู้ในด้านของผลิตภัณฑ์ที่ให้บริการเท่านั้น ผู้ศึกษาจึงทำการประเมินผลแนวทางที่เสนอด้วยการรวบรวมข้อมูลที่เป็นพื้นฐานแนวความคิดของการคำนวณแบบคลาวด์มาทำข้อมูลสารสนเทศและนำไปสร้างสื่อวีดิทัศน์ออนไลน์ให้เข้าใจในรูปแบบการใช้บริการรวมไปถึงการแบ่งประเภทแนวความคิดของการคำนวณแบบคลาวด์ให้เกิดความรู้ขั้นพื้นฐานแบบเข้าใจได้ง่าย (IRIS CLOUD,2556)

2. กรอบแนวคิด ทฤษฎี และงานที่เกี่ยวข้อง

การให้บริการแบบคลาวด์ คือ การเข้าใช้บริการจากระบบคอมพิวเตอร์ผ่านทางออนไลน์ โดยที่ผู้ให้บริการไม่จำเป็นต้องรู้ว่ามียุทธวิทยาการมากน้อยแค่ไหน หรือคอมพิวเตอร์ตั้งอยู่ที่ใด ไม่ต้องสนใจเรื่องการจัดการทรัพยากรโครงสร้างพื้นฐานด้านไอที (IT Infrastructure) เป็นลักษณะของระบบคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรูปแบบของการกระจายตามพื้นที่ต่างๆ มีการเชื่อมต่อกันเป็นระบบคลัสเตอร์ (Cluster Network) ผ่านการจัดสรรทรัพยากรด้วยเทคโนโลยีเวอร์ชวลไลเซชัน (Virtualization) เพื่อให้ตอบสนองงานบริการต่างๆ ให้รองรับกับจำนวนผู้ใช้งานจำนวนมากที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมถึงมีระบบการจัดสรรทรัพยากรต่างๆ ด้วยการคำนวณแบบคลาวด์ มีการกำหนดตัวแบบการให้บริการการคำนวณแบบคลาวด์ ได้แก่ บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ (Software as a

Service: SaaS) บริการแพลตฟอร์มคลาวด์ (Platform as a Service: PaaS) บริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ (Infrastructure as a Service: IaaS) และตัวแบบการติดตั้งระบบการคำนวณแบบคลาวด์ ได้แก่ คลาวด์แบบสาธารณะ (Public Cloud) คลาวด์แบบส่วนตัว (Private Cloud) คลาวด์แบบลูกผสม (Hybrid Cloud) และคลาวด์แบบชุมชน (Community Cloud) เช่น G-Cloud (The Value Systems Co., Ltd., 2558)

อินโฟกราฟิกแอนิเมชัน คือ ภาพหรือกราฟิกที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งบ่งชี้ถึงข้อมูล ไม่ว่าจะเป็นสถิติความรู้ ตัวเลขเรียกว่าเป็นการย่อข้อมูลเพื่อให้ประมวลผลออกมาเป็นเรื่องราว มีภาพเคลื่อนไหวประกอบกับคำอธิบาย ซึ่งเหมาะสำหรับผู้คนในยุคไอทีที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลซับซ้อนมหาศาลในเวลาอันจำกัด ในปัจจุบันกำลังเป็นที่นิยมในโลกของสังคมออนไลน์เพราะด้วยวิทัศน์นี้ สามารถทำให้คนทั่วๆ ไปสามารถเข้าถึง เข้าใจ ข้อมูลปริมาณมากๆ ด้วยภาพเคลื่อนไหวพร้อมคำอธิบายด้วยข้อมูลที่ถูกต้องออกมาเป็นอย่างดีเป็นวิธีการนำเสนอข้อมูลเชิงสร้างสรรค์ ซึ่งเราสามารถหยิบยกเรื่องราวเล็กๆ ไปจนถึงเรื่องราวใหญ่โตมานำเสนอ ในมุมมองที่แปลกตา ทันสมัย ทันต่อเหตุการณ์ในโลก (พงษ์พิพัฒน์ สายทอง, 2557)

การผลิตบทสำหรับการผลิตสื่อ (Production Script) คือการรวบรวมข้อมูลดิบที่มีอยู่มากมายไม่ว่าจะเป็นรูปแบบของตัวหนังสือหรือรูปภาพประกอบนำมาคัดกรองความถูกต้อง เรียบเรียงและทำการสารสนเทศข้อมูลนั้นให้ออกมาเป็นบทบรรยายเพื่อที่จะนำไปสร้างภาพประกอบในเนื้อหาของบทบรรยายนั้น ในแต่ละภาพและบทบรรยายจะถูกแบ่งหัวข้อในเนื้อเรื่องที่ทำการนำเสนอ ในส่วนของภาพหนึ่งที่เรียบเรียงตามข้อมูลแล้วจะนำไปสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหว และนำมาประกอบกับเสียงคำบรรยายผ่านกระบวนการตัดต่อใส่เสียงประกอบจนออกมาเป็นสื่อวิทัศน์ที่สมบูรณ์แบบ (ปิยะฉัตร วิเศษ, 2558)

ภาษายูเอ็มแอล (Unified Modeling Language: UML) เป็นภาษาเพื่อการออกแบบหรือภาษาที่ใช้จำลองแบบเชิงภาพที่แพร่หลายกันอย่างมากในอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ปัจจุบัน ยูเอ็มแอลได้กลายเป็นภาษาที่ยอมรับในหมู่นักพัฒนาซอฟต์แวร์ยุคใหม่เหมือนภาษาพื้นบ้านทั่วไป ยูเอ็มแอลประกอบด้วยกลุ่มสัญลักษณ์เพื่อใช้ในการบรรยายและกฎไวยากรณ์เพื่อใช้ในการทำสิ่งสร้างสรรค์ ยูเอ็มแอลกำหนดให้ใช้สัญลักษณ์เป็นรูปกราฟิกชุดหนึ่งที่ใช้สร้างสิ่งสร้างสรรค์ที่เป็นแบบจำลองเชิงภาพของระบบซอฟต์แวร์ได้ รูปภาพที่แสดงความหมายของสิ่งต่างๆ ในแบบจำลองเชิงภาพมีหลายชนิด เช่น แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน (Activity Diagram) เน้นการทำงานย่อยของวัตถุโดยมีกระบวนการทำงานคล้ายกับผังงาน (Flowchart Diagram) โดยจะแบ่งกลุ่มกิจกรรมที่เกิดขึ้นเป็นช่องโดยกำกับแต่ละช่องด้วยชื่อที่แสดงถึงกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับขั้นตอนนั้นๆ เป็นต้น (ศุติ บุญรอด, 2558)

ในส่วนของงานที่เกี่ยวข้อง คือกระบวนการพัฒนางานกราฟิกของบริษัทผู้ผลิตคนที่หนึ่งเป็นการทำงานโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ที่ไม่ใช่บริการคลาวด์ ได้แก่ Adobe Creative ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพในแง่ของการส่งต่อข้อมูล การใช้รุ่นของโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่ตรงกันรวมไปถึงการตั้งค่าพื้นฐานของโปรแกรมประยุกต์ที่ไม่สอดคล้องกัน

3. วัตถุประสงค์การศึกษา

3.1 เพื่อพัฒนาแนวทางการผลิตเนื้อหาวิทัศน์ดิจิทัลและการส่งมอบเนื้อหาโดยอาศัยเทคโนโลยีคลาวด์

3.2 เพื่อผลิตเนื้อหาภาพเคลื่อนไหวสำหรับสร้างความเข้าใจและความตระหนักในการคำนวณแบบคลาวด์

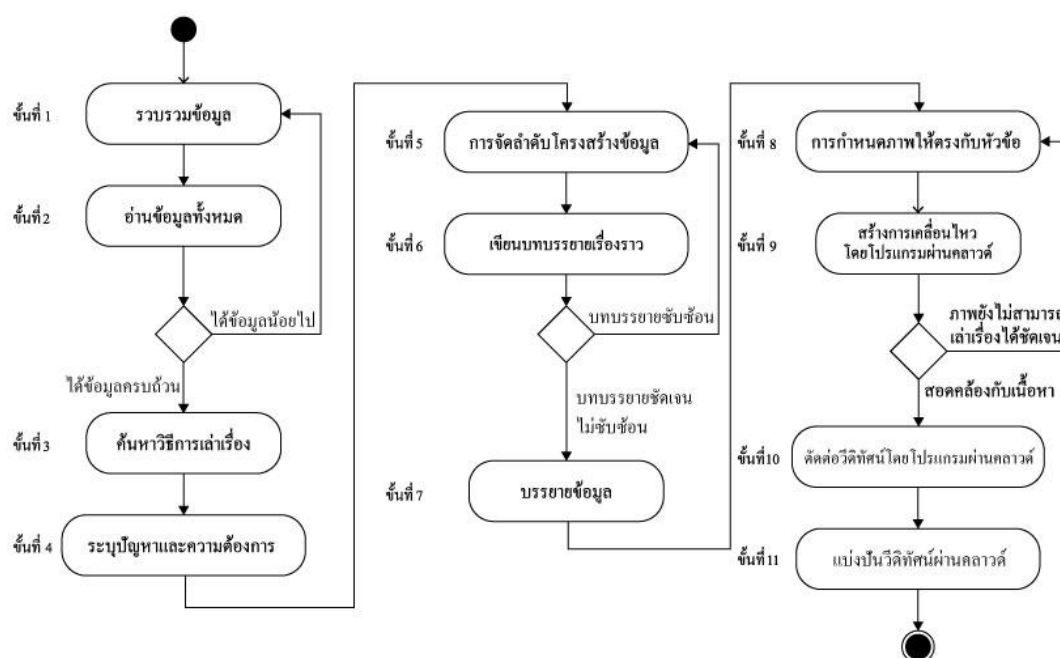
4. วิธีการดำเนินการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาในส่วนของฮาร์ดแวร์ ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ iMac ไมโครโฟน และกราฟิกแท็บเล็ต 1 เครื่อง ในส่วนของซอฟต์แวร์ ได้แก่ Mac OS รุ่น OS X Yosemite และโปรแกรมครีเอทีฟคลาวด์ 2015 (Adobe Creative Cloud 2015) (Adobe Systems Incorporated, 2015)

ในส่วนแนวทางการสร้างเนื้อหาวิดีโอทัศนคติและการส่งมอบผ่านคลาวด์ ผู้ศึกษาได้ทำการสรุปจากประสบการณ์การทำงานจริงของผู้ศึกษาและการสัมภาษณ์จากผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาจำนวน 7 คน นอกจากนี้ผู้ศึกษาได้ทำการสำรวจการบริการคลาวด์สาธารณะสำหรับการสร้างและการส่งมอบเนื้อหาวิดีโอทัศนคติผ่านคลาวด์ เช่น โปรแกรมอะโดบี โฟโต้ชอป ซีซี (Adobe Photoshop CC) (Adobe Systems Incorporated, 2015) โปรแกรมอะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ ซีซี (Adobe Illustrator CC) (Adobe Systems Incorporated, 2015) โปรแกรมอะโดบี พรีเมียร์โปร ซีซี (Adobe Premiere Pro CC) (Adobe Systems Incorporated, 2015) ครอบงอม (Dropbox) (Drew Houston, 2015.) และยูทูบ (Youtube) (Chad Hurley, 2005) จากนั้นนำเสนอผลการศึกษาผ่านแผนภาพยูเอ็มแอล และในส่วนการประเมินผลแนวทางที่เสนอ ผู้ศึกษาได้นำแนวทางไปทดสอบการใช้ในการผลิตและการส่งมอบเนื้อหาวิดีโอทัศนคติ โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลตัวแบบบริการการคำนวณแบบคลาวด์ การให้บริการในรูปแบบต่างๆ ในปัจจุบัน รวมไปถึงข้อกำหนดการให้บริการ ผู้ดูแลข้อตกลง (Cloud Provider) และผู้ให้ความรู้เกี่ยวกับการเลือกใช้บริการ (Cloud Broker) มาจาก NIST (Peter Mell and Timothy Grance, 2011) ทำการสารสนเทศข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งบทความที่เข้าใจได้ง่าย จากนั้นทำการบันทึกเสียงบทบรรยายเพื่อประกอบกับภาพเคลื่อนไหวแทนการใช้ตัวอักษรอธิบายข้อมูลต่าง สร้างรูปภาพที่ตรงกับเนื้อหาที่อธิบายในหัวข้อนั้นๆ และทำการเคลื่อนไหวภาพต่างๆ โดยอาศัยโปรแกรมประยุกต์ที่ให้บริการผ่านคลาวด์ ตัดต่อภาพหลังจากจัดองค์ประกอบภาพแล้วจะถูกนำมาตัดต่อเรียงร้อยเข้าด้วยกันเป็นฉาก (Scene) โดยใช้โปรแกรมอะโดบี พรีเมียร์โปร ซีซี ในส่วนการตัดต่อนี้จะประกอบเสียง ที่ประกอบด้วย เสียงดนตรีและเสียงประกอบต่างๆ มาทำการบันทึก แยกเสียง ผสมเสียง (Mixing) ทั้งหมด ในขั้นตอนนี้อาจมีการบันทึกเสียงบรรยายเพิ่มเติมใหม่เพื่อความสมบูรณ์พร้อมทั้งแบ่งองค์ความรู้เป็นบท อัฟโหลดผ่านเทคโนโลยีแบบคลาวด์นั้นคือบริการยูทูบ ในส่วนของวิดีโอที่ได้อัปโหลดขึ้นด้วยแนวทางที่เสนอได้ทดลองนำไปให้ผู้ชมจำนวน 5 คนรับชมเพื่อวัดผลความเข้าใจในเนื้อหาวิดีโอที่สร้างขึ้น

5. ผลการศึกษา

แนวทางในการผลิตเนื้อหาวิดีโอทัศนคติและการส่งมอบวิดีโอทัศนคติผ่านคลาวด์ ที่เสนอมีรายละเอียดดังรูปภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสร้างวีดิทัศน์ดิจิทัลผ่านบริการแบบคลาวด์

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูล (Gathering Data) คัดเลือกข้อมูลดิบที่รวบรวมมาแต่ยังไม่เป็นระเบียบ บันทึกภาพต่างๆ ที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย ไม่ควรแยกภาพหรือแผนภาพกับข้อมูลออกจากกัน

ขั้นตอนที่ 2 อ่านข้อมูลทั้งหมด (Reading Everything) อ่านข้อมูลทั้งหมด ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้มานั้นเพียงพอต่อความต้องการที่จะนำมาสารสนเทศข้อมูล นำประเด็นสำคัญมาสนับสนุนเรื่องราวที่ต้องการนำเสนอ

ขั้นตอนที่ 3 ค้นหาวิธีการเล่าเรื่อง (Finding the Narrative) การเล่าเรื่อง การบรรยาย การนำเสนอข้อมูล นำเสนอเรื่องราวที่ดึงดูดความสนใจอินโฟกราฟิกส์เริ่มที่จุดมุ่งหมายเดียว ขยายความข้อมูลที่ซับซ้อน อธิบายกระบวนการ เน้นที่แนวโน้มหรือสนับสนุนข้อโต้แย้งการหาวิธีการเล่าเรื่องที่น่าสนใจ

ขั้นตอนที่ 4 ระบุปัญหาและความต้องการ (Identifying Problems) หาเอกลักษณ์ ระบุชื่อ ชีวประวัติ แสดงตัว เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วนำมาตรวจสอบความถูกต้องอาจมีข้อมูลที่ไม่สนับสนุนหัวข้อหรือประเด็นที่ต้องการนำเสนอ หาข้อสรุปที่แท้จริงเพื่อระบุปัญหาและความต้องการของผู้ชม ซึ่งมีความต้องการข้อมูลที่มีการจัดการและมีการออกแบบที่ดี

ขั้นตอนที่ 5 จัดลำดับโครงสร้างข้อมูล (Structuring) การจัดลำดับชั้นของข้อมูลเป็นที่นิยมในการสรุปข้อมูล เป็นการนำผู้ชมให้มองเห็นภาพรวมตั้งแต่ต้นจนจบเป็นวิธีการจัดการกับข้อมูลในการสร้างอินโฟกราฟิก และตรงผู้ชมตามโครงสร้างลำดับชั้นของข้อมูล การจัดรูปแบบข้อมูลตามลำดับจะส่งเสริมให้ผู้ชมเข้าถึงข้อมูลเป็นช่วงระยะของการเล่าเรื่อง ซึ่งกลายเป็นวิธีการที่แพร่หลายในการออกแบบอินโฟกราฟิก

ขั้นตอนที่ 6 เขียนบทบรรยายเรื่องราว (Create Script) นำข้อมูลทั้งหมดที่ผ่านการสารสนเทศมาแล้วมาเขียนบท กำหนดเนื้อเรื่องเชื่อมโยงเหตุการณ์ และตัวละครต่างๆ เข้าด้วยกัน ต้องมีลักษณะกะทัดรัด ไม่ยืดเยื้อ ดำเนินเรื่องไม่ซับซ้อน ลักษณะของโครงเรื่องขึ้นอยู่กับชนิดของเรื่องที่จะนำเสนอ

ขั้นตอนที่ 7 บรรยายข้อมูล (Speaking) การบรรยายข้อมูลนั้นจะขึ้นอยู่กับเรื่องที่จะนำเสนอ น้ำเสียงที่ใช้ควรเลือกให้เหมาะสม ออกเสียงต้องชัดเจน การบรรยายต้องมีความน่าสนใจจะทึ่งใครแต่ไม่รวบรัดจนฟังไม่รู้เรื่อง

ขั้นตอนที่ 8 กำหนดภาพให้ตรงกับหัวข้อ (Determining a Visual Approach) การวาดรูปภาพในการทำอินโฟกราฟิกดูมีสองแนวคิด คือ ใช้ข้อมูลดิบมาจัดทำเป็นกราฟหรือแผนผังให้น่าสนใจ ใช้สี การพิมพ์ และการจัดโครงสร้างในการออกแบบงานให้มีศิลปะ และใช้ลายเส้น วาดภาพหรือคำอุปมาเปรียบเทียบ ไม่แสดงข้อมูลตัวเลขออกมาอย่างชัดเจน จะเห็นเป็นภาพแสดงแทนข้อมูลคล้ายกับกราฟหรือแผนผังเท่านั้น ไม่ติดขัดกับวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ควรผสมผสานวิธีการใช้กราฟ แผนภาพ และแผนผัง ตกแต่งองค์ประกอบด้วยการวาดลายเส้นหรือนำภาพที่เป็นตัวแทนของข้อมูลมาจัดวางซ้อนกันอาจเสริมด้วยข้อมูล สื่อ ตราสัญลักษณ์ และเนื้อหาในการออกแบบให้ตรงกับหัวข้อ ในส่วนนี้จะใช้ร่วมกับโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ โดยใช้โปรแกรมผ่านการคำนวณแบบคลาวด์ โปรแกรมวาดรูปแบบเวกเตอร์ เหมาะกับการออกแบบ ดีไซน์ทุกประเภทด้วยระบบเลเยอร์ เทมเพลต เอฟเฟกต์ ฟิลเตอร์ การเชื่อมต่อกับครีเอทีฟคลาวด์ และเครื่องมือที่รองรับการทำงานรูปแบบต่างๆ

ขั้นตอนที่ 9 สร้างรูปแบบการเคลื่อนไหว(Animation) สร้างความเข้าใจให้ง่ายขึ้นกับข้อมูลโดยนำภาพที่ได้สร้างไว้ตรงกับข้อมูลนำเสนอ ไม่ว่าจะเป็นภาพหรือกราฟ ทำการเคลื่อนไหวให้ตรงกับบทบรรยายที่ได้บันทึกเสียงไว้ สร้างการขยับที่ดึงดูดน่าสนใจชวนให้ชม ไม่น่าเบื่อ เพื่อสร้างความเข้าใจในเนื้อหาหรือข้อมูลที่จะนำเสนอได้ง่ายขึ้น การสร้างรูปแบบการเคลื่อนไหวนั้นต้องใช้เวลามากในการสร้าง ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีแบบคลาวด์จึงมีส่วนในการช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพได้ดียิ่งขึ้น เพราะการใช้โปรแกรมผ่านการคำนวณแบบคลาวด์นั้น เพียงแค่มีอินเทอร์เน็ตก็สามารถทำงานที่ใดก็ได้ผ่านบริการแบบคลาวด์ โดยส่วนนี้ใช้โปรแกรมผ่านการคำนวณแบบคลาวด์

ขั้นตอนที่ 10 ตัดต่อวิดีโอ (Editing) การตัดต่อคือการนำวิดีโอที่ผ่านการทำการเคลื่อนไหวมาแล้ว แบ่งเป็นฉาก มาตัดต่อรวมกับเสียงบรรยาย ใส่เพลง หรือเสียงประกอบฉากเพิ่มความน่าสนใจในวิดีโอ การตัดต่อถือเป็นการสร้างวิดีโอขั้นสุดท้ายก่อนจะนำไปเผยแพร่ ใช้โปรแกรมผ่านคลาวด์ นำไปใช้งานได้ทั้งภาพนิ่งและ ภาพเคลื่อนไหวเพียงนำไฟล์รูปที่ต้องการวางลงในโปรแกรม ใส่เอฟเฟกต์การเปลี่ยนรูป เท่านั้นก็สามารถสร้างวิดีโอที่เคลื่อนไหวผ่านรูปถ่ายได้เลย นอกจากการนำรูปถ่ายมาทำเป็นภาพเคลื่อนไหว ยังสามารถใช้ข้อความหรือเสียงบรรยายลงไปในขณะที่กำลังตัดต่อวิดีโอ และระบบที่เชื่อมต่อการคำนวณแบบคลาวด์นั้น เมื่อเกิดปัญหาขึ้นระหว่างทำงานระบบจะทำการบันทึกงานไว้อัตโนมัติ เพื่อป้องกันการสูญหายของข้อมูลด้วย

ขั้นตอนที่ 11 แบ่งปันความรู้ผ่านการคำนวณแบบคลาวด์ วิดีทัศน์ดิจิทัลที่ผลิตมานั้น สามารถทำการเผยแพร่ผ่านบริการแบบคลาวด์ได้หลายช่องทาง ไม่ว่าจะเป็นการอัปโหลดทางสื่อออนไลน์ เว็บไซต์ยูทูป ซึ่งสามารถสร้างเป็นช่อง (Channel) ให้ติดตามได้ เมื่อผู้สร้างมีวิดีโอหลายๆ เรื่องซึ่งเป็นแนวทางเดียวกัน ก็สามารถสร้างการเชื่อมโยงต่อวิดีโอได้อัตโนมัติ วิดีโอในยูทูปสามารถดูได้ผ่านเว็บไซต์ยูทูปโดยตรงผ่านซอฟต์แวร์แพลตฟอร์มอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ โดยมีความละเอียดแตกต่างกันไป โดยมีความละเอียดเริ่มต้นที่ 144 พิกเซลไปจนถึงความละเอียดคุณภาพสูงสุด

ผู้ศึกษาทำการประเมินแนวทางการผลิตเนื้อหาวิดีโอทัศน์และการส่งมอบวิดีโอทัศน์ดิจิทัลผ่านคลาวด์ โดยนำมาพัฒนาวิดีโอทัศน์ในรูปแบบของอินโฟกราฟิกแอนิเมชัน



ภาพประกอบ 2 ภาพของวิทัศน์เนื้อหาความรู้เรื่องการคำนวณแบบคลาวด์

แนวความคิดของการให้บริการแบบคลาวด์จะมีการให้บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ อธิบายลักษณะรูปแบบการขายซอฟต์แวร์โดยให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต รวมทั้งความรู้พื้นฐานของระบบและให้ทราบถึงหลักการทางกระบวนการของการขายซอฟต์แวร์ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต และมีการให้ข้อมูลผู้ให้บริการทางด้านการขายซอฟต์แวร์ โดยให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ในปัจจุบัน มีรูปแบบการบริการแพลตฟอร์มคลาวด์ อธิบายลักษณะรูปแบบการให้บริการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์รวมทั้งความรู้พื้นฐานของระบบและเพื่อให้ทราบถึงหลักการทางกระบวนการของการให้บริการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ และมีการให้ข้อมูลผู้ให้บริการทางด้านการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ ในปัจจุบันและการให้บริการที่เหมาะสมสำหรับผู้ให้บริการในรูปแบบบริษัท มีการบริการโครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ อธิบายลักษณะรูปแบบการให้บริการเฉพาะ โครงสร้างพื้นฐานและระบบจัดเก็บข้อมูล รวมทั้งความรู้พื้นฐานของระบบและเพื่อให้ทราบถึงหลักการทางกระบวนการของการให้บริการเฉพาะโครงสร้างพื้นฐานและระบบจัดเก็บข้อมูลและมีการให้ข้อมูลผู้ให้บริการทางด้านการให้บริการเฉพาะโครงสร้างพื้นฐานและระบบจัดเก็บข้อมูลในปัจจุบัน

แนวคิดรูปแบบของการประมวลผลของคลาวด์ได้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท การประมวลผลแบบแรกคือ คลาวด์ส่วนตัว เป็นการใช้ระบบโครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีสารสนเทศเฉพาะสำหรับองค์กรหนึ่งองค์กรใด

ผู้ใช้อาจดูแลอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศด้วยตนเอง หรือจ้างบุคคลมาดูแลให้ก็ได้ อุปกรณ์อาจติดตั้งในสถานที่ของผู้ใช้หรืออยู่ภายนอกทั้งหมดหรือบางส่วนก็ได้ ส่วนต่อมาก็คือ คลาวด์สาธารณะเป็นการให้บริการคลาวด์ร่วมกับสาธารณะชน องค์กรทั่วไป และกลุ่มองค์กรขนาดใหญ่ ผู้ให้บริการเป็นผู้ลงทุนโครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และสุดท้ายคือคลาวด์ถูกผสมเป็นการให้บริการที่ผสมผสานระหว่างคลาวด์ส่วนตัว คลาวด์ชุมชน หรือคลาวด์สาธารณะ ผู้ให้บริการแต่ละรายที่ให้บริการภายใต้คลาวด์ถูกผสมนี้ต่างทำงานแบบอิสระ ระบบคลาวด์ไม่ว่าจะเชื่อมโยงด้วยเทคนิคที่เป็นมาตรฐานหรือเทคโนโลยีเฉพาะจะต้องสามารถทำงานร่วมกันในระดับข้อมูลและระบบซอฟต์แวร์ประยุกต์ได้

6. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอแนวทางการพัฒนาการสร้างวิดิทัศน์ดิจิทัลโดยใช้บริการ โครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ และส่งต่อวิดิทัศน์ผ่านเทคโนโลยีคลาวด์ ในส่วนของการประเมินผลแนวทางดังกล่าว ผู้ศึกษาทำการนำแนวทางมาปฏิบัติเพื่อผลิตเนื้อหาจริงที่เป็นภาพเคลื่อนไหวให้ผู้ที่ต้องการศึกษาได้เข้าใจในการให้บริการคลาวด์ได้ง่ายยิ่งขึ้นไม่ว่าจะในด้าน บริการซอฟต์แวร์คลาวด์ บริการแพลตฟอร์มคลาวด์ บริการ โครงสร้างพื้นฐานคลาวด์ และพบว่าแนวทางที่เสนอสามารถช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพในด้านความถูกต้องเพิ่มขึ้นและลดระยะเวลาในการทำงานเนื่องจากสามารถใช้ทรัพยากรและข้อมูลที่ได้ทำการบันทึกไว้ได้อย่างต่อเนื่อง และพบว่าผู้รับชมวิดิทัศน์ทั้ง 5 คนที่สร้างด้วยแนวทางที่เสนอสามารถเข้าใจเนื้อหาได้โดยง่ายและรวดเร็ว

7. ข้อเสนอแนะ

แนวทางการสร้างเนื้อหาวิดิทัศน์ดิจิทัลและการส่งมอบผ่านคลาวด์ ยังสามารถพัฒนาความรู้ในเรื่องอื่นๆ ได้อีกมากมายที่เป็นข้อมูลที่ต้องการแสดงเนื้อหาโดยนำข้อมูลมาแสดงเป็นภาพ ลายเส้น สัญลักษณ์ กราฟ แผนภูมิ ไดอะแกรม ตาราง แผนที่ ต่างๆ ได้ และยังสามารถนำไปเป็นสื่อการสอนเบื้องต้นได้อีกด้วย

8. รายการอ้างอิง

ฉลอง ทับศรี. ม.ป.ป. “การเรียนรู้กับการสื่อความหมาย.” การออกแบบระบบการเรียนการสอนชลบุรี:

มหาวิทยาลัยบูรพา

นิพนธ์คุณารักษ์. 2554. “ระบบและกระบวนการผลิตภาพยนตร์แอนิเมชัน 2 มิติร่วมสมัย.” ปีที่ 3 ฉบับที่ 2.

ขอนแก่น : วารสารศิลปกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปิยะคนัย วิเศษ. 2558. “การเขียนบทวิดิทัศน์และภาพยนตร์”. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก

<https://krupiyadanai.wordpress.com>.

สุสติ บุญรอด. ม.ป.ป. การออกแบบงานวิจัย กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พงษ์พิพัฒน์ สายทอง. 2557. “การออกแบบอินโฟกราฟิกแอนิเมชันเพื่อการเรียนการสอน”. ปีที่ 5 ฉบับที่ 2

พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.

พงษ์พิพัฒน์สายทอง. 2557. “ การพัฒนาโมชันอินโฟกราฟิก เรื่องกระบวนการวิจัยสำหรับนิสิตระดับ

บัณฑิตศึกษา.” ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 กรุงเทพมหานคร : ศิลปกรรมสาร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มนต์ชัย เทียนทอง. 2548. “การออกแบบและพัฒนาออร์สแวร์สำหรับบทเรียนคอมพิวเตอร์.” พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิจิต สุรัตน์เรืองชัย. 2550. “การวิจัยและพัฒนาทางการศึกษา”. วารสารหลักสูตรและการสอน. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1

ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา.

Adobe Systems Incorporated. 2015. **Adobe After Effects Creative Cloud 2015**”. (ออนไลน์). เข้าถึงจาก

<https://www.adobe.com/products/aftereffects.html>.

Adobe Systems Incorporated. 2015. **Adobe Illustrator Creative Cloud 2015**”. (ออนไลน์). เข้าถึงจาก

<https://www.adobe.com/products/illustrator.html>.

Adobe Systems Incorporated. 2015. **Adobe Photoshop Creative Cloud 2015**”. (ออนไลน์). เข้าถึงจาก

<http://www.adobe.com/products/photoshop.html>.

Adobe Systems Incorporated. 2015. **Adobe Premiere Pro Creative Cloud 2015**”. (ออนไลน์). เข้าถึงจาก

<https://www.adobe.com/products/premiere.html>.

Chad Hurley. 2005. “youtube.com” (ออนไลน์). เข้าถึงจาก <http://www.youtube.com>

Drew Houston. 2015. **“Dropbox Business”** (ออนไลน์). เข้าถึงจาก <https://www.dropbox.com/>

IRIS CLOUD. 2556. “มาทำความรู้จักกับ Cloud Computing กันนะ” (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก

<http://www.youtube.com> (4 สิงหาคม 2556).

Peter Mell and Timothy Grance. 2011. **“The NIST Definition of Cloud Computing”**. National Institute of

Standaras and Tecnology : United States of America.

The Value Systems Co., Ltd. 2558. “มารู้จักกับคลาวด์คอมพิวติ้ง”. (ออนไลน์). เข้าถึงได้จากจาก

<https://www.value.co.th/>.

ตัวแบบการควบคุมผลผลิตการทำฟาร์มไก่ไข่โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ
A PRODUCTIVITY CONTROL MODEL FOR LAYING HEN FARMING
WITH FUZZY LOGIC

พิทักษ์ จิตรสำราญ

นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : pitak_ren@hotmail.com

มาลิวรรณ บุญพลอย

อาจารย์ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์-การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชัน

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : maliwan.bo@spu.ac.th

ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

ไก่ไข่เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่ได้รับความสำคัญมาอย่างยาวนานและการวิจัยด้านไก่ไข่เป็นการตอบสนองต่อนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอตัวแบบการควบคุมผลผลิตฟาร์มไก่ไข่ด้วยทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยมีเป้าหมายคือการพัฒนากระบวนการอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพฟาร์มไก่ไข่ ตัวแบบที่เสนอมีข้อมูลนำเข้าได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง ผลกำไรขาดทุน และมีข้อมูลนำออกได้แก่ ค่าสัญญาณสำหรับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้นในโรงเรือนเลี้ยงไก่ และสำหรับการแจ้งเตือนเกษตรกร การประเมินตัวแบบอาศัยวิธีจำลองการทำงานและจากการทดลองพบว่า (1) เมื่อระดับราคาไข่ไก่เริ่มทำให้เกิดภาวะการขาดทุน ตัวแบบจะทำให้เกิดสัญญาณแจ้งไปยังเกษตรกรเพื่อตัดสินใจทำกระบวนการผลิตไข่ไก่ (2) เมื่อระดับอุณหภูมิในฟาร์มไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ตัวแบบจะทำการปรับระดับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (3) เมื่อระดับความชื้นในฟาร์มไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ตัวแบบจะปรับระดับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ควบคุมความชื้น และ (4) เมื่อระดับแสงในฟาร์มไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ตัวแบบจะปรับระดับสัญญาณควบคุมหลอดไฟในฟาร์มหรือแจ้งเตือนเกษตรกร

คำสำคัญ : ผลผลิตฟาร์มไก่ไข่ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ การจำลองการทำงาน

ABSTRACT

Laying hens are economic animals that have been important for a long time and laying hens-related research is response to national research policy and strategy. This paper proposes a model for laying hens farming productivity control using fuzzy logic theory with a goal towards the development of an Internet of Things system for laying hens farming productivity control. The input data set of the proposed model consists of temperature, humidity, light and margin while the output data set comprises control signals for temperature, light, humidity control devices and a farmer alarm signal. The evaluation of the proposed model used simulation method. The findings are that (1) when egg price causes loss in margin, the model will alarm to farmers to decide to do molt diet process (2) when in-farm temperature is out of an appropriate range, the model will adjust control signal for temperature controller device (3) when in-farm humidity is not in a proper range, the model will adjust humidity controller device, and (4) when in-farm light is not in a proper range, the model will adjust the control signal of lamp or inform farmers as necessary.

KEYWORDS : Egg productivity, Fuzzy logic, Simulation

1. บทนำ

ไก่ไข่เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญดังปรากฏในนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 เรื่องการสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจกลยุทธ์ที่ 1 คือการวิจัยเพื่อสร้างมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรปศุสัตว์และประมงและการพัฒนาศักยภาพในการแข่งขัน จึงควรส่งเสริมการทำวิจัยและพัฒนาไก่ไข่อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังพบว่ามีการเกิดภาวะไข่ไก่ล้นตลาดสูงถึง 15,000 ล้านฟองต่อปี จากปริมาณความต้องการเพียง 13,000 ล้านฟองต่อปี เนื่องจากจำนวนแม่พันธุ์ไก่ไข่เดิมอยู่ที่ 5 แสนตัวต่อปีกลายเป็นมีแม่พันธุ์ไก่ไข่อยู่มากถึงประมาณ 6.2 แสนตัวต่อปี ทำให้ในอดีตราคาไข่ไก่เคยลดลงเหลือเพียงฟองละ 2.00 บาท ขณะที่ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ฟองละ 2.93 บาท ส่งผลให้เกิดการขาดทุนฟองละ 0.93 บาท (Matichon Online, 2015, March)

ผู้วิจัยจึงทำการวิจัยตัวแบบการควบคุมผลผลิตการทำฟาร์มไก่ไข่โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อเพิ่มผลผลิตไก่ไข่ในช่วงเวลาปกติและช่วยลดการขาดทุนในช่วงเวลาที่ราคาไข่ไก่ตกต่ำด้วยการให้ไก่เข้าสู่โหมดผลิตไข่เพื่อลดผลผลิต ตัวแบบดังกล่าวอาศัยทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยจำลองข้อมูลนำเข้าจากตัวรับรู้ (sensors) ได้แก่ ตัวรับรู้อุณหภูมิ ตัวรับรู้ความชื้น ตัวรับรู้แสงสว่าง และข้อมูลนำเข้าจากเว็บเกี่ยวกับผลกำไรขาดทุน (margin) เพื่อนำมาตัดสินใจด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อสร้างสัญญาณนำออกสำหรับการควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มไก่ไข่ ได้แก่ หลอดไฟส่องสว่าง พัดลมไอน้ำสำหรับปรับอุณหภูมิ พัดลมไล่ความชื้น และเพื่อแจ้งเตือนเกษตรกรในกรณี que อุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มไก่ไข่ไม่สามารถปรับสภาพแวดล้อมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมได้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อวิจัยตัวแบบการควบคุมผลผลิตภาพการทำฟาร์มโกโก้โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ
- 2.2 เพื่อวิจัยตัวแบบการตัดสินใจด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อสร้างสัญญาณนำออกสำหรับการควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มโกโก้
- 2.3 เพื่อวิจัยตัวแบบการแจ้งเตือนเกษตรกรในกรณีที่อุปกรณ์ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในฟาร์มโกโก้ไม่สามารถปรับสภาพแวดล้อมให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

3. แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

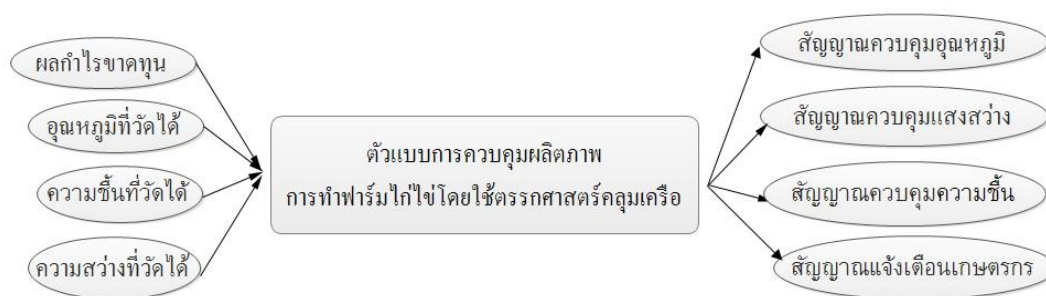
การเลี้ยงโกโก้ในฟาร์มแบบปิดเพื่อเพิ่มผลผลิตโกโก้ต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกล่าวคือ อุณหภูมิระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส ความชื้นระหว่าง 50-80 % แสงสว่าง 5-20 ลักซ์ เป็นระยะเวลา 14 ชั่วโมงต่อวัน และการเลี้ยงโกโก้ในฟาร์มแบบปิดเพื่อลดผลผลิตในภาวะราคาโกโก้ตกต่ำหรือที่เรียกว่าโกโก้ล้นจะต้องมีสภาพแวดล้อมต่อไปนี้คือ อุณหภูมิระหว่าง 18-24 องศาเซลเซียส ความชื้นระหว่าง 50-80 % แสงสว่าง 5-20 ลักซ์เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน และต้องให้อาหารพิเศษได้แก่ข้าวโพดป่นเท่านั้น ร่วมกับการให้น้ำตามปกติ (ภูวนาถ นนทรี, 2544)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายในภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ใช้เหตุผลแบบประมาณการ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ การนำตรรกศาสตร์คลุมเครือไปใช้งานจริงต้องประกอบด้วย คำนำเข้าจริง (crisp inputs) เช่น ค่าที่อ่านได้จากตัวรับรู้ การทำให้คลุมเครือ (fuzzification) หรือการแปลงเป็นค่าความเป็นสมาชิกด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟังก์ชันเงื่อนไข (premise membership functions) ต่างๆ กฎคลุมเครือ (fuzzy rules) กลไกการอนุมาน (inference) การทำให้ไม่คลุมเครือ (defuzzification) หรือการทำให้ค่าความเป็นสมาชิกกลายเป็นค่าที่สอดคล้องกับการทำงานจริงของระบบ (crisp outputs) ด้วยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฟังก์ชันบทสรุป

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการนำหลักตรรกศาสตร์คลุมเครือไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ Ashourzadeh et al. (2011) ซึ่งใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือในด้านปศุสัตว์เพื่อช่วยสัตวแพทย์ในการวินิจฉัยตรวจสอบแนวโน้มการเกิดโรคทางประสาทของสัตว์ Dobric, Zarkovic, and Djuricic (2013) ตรรกศาสตร์คลุมเครือไปใช้งานด้านการออกแบบกังหันลมในฟาร์มเพื่อหาค่าประสิทธิภาพและการนำไปคิดคำนวณความคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายในการเสียดำไฟฟ้า Bhunia, Dhar and Mukherjee (2014) ได้นำ ตรรกศาสตร์คลุมเครือไปแจ้งเตือนด้านงานสุขภาพโดยรับค่าจากตัวรับรู้ส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Chen (2013) ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อจำลองกลไกการตลาด ตั้งแต่เริ่มจนครบวงจร เพื่อมาปรับใช้ให้เกิดประสิทธิภาพในเรื่องของการตลาด Micera et al. (2001) ได้นำ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อและแขนเพื่อให้อุปกรณ์เชิงมุมมายังคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อให้ตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อจำลองการขึ้นเคลื่อนไหวของสัตว์ Kong et al. (2001) ใช้ตรรกศาสตร์มาหาความแตกต่างของเส้นใยของขนแกะ Hidayah et al. (2011) การใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือมาประเมินคุณภาพของน้ำในการเลี้ยงสัตว์น้ำ Bras et al. (2014) การใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือมาจำลองควบคุมตัวแปรเพื่อช่วยสัตวแพทย์ในการปรับปรุงความปลอดภัยของสัตว์ อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านี้มิได้มี

เป้าหมายในการควบคุมผลผลิตภาพไข่ไก่ซึ่งต้องใช้กฎคลุมเครือหรือตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่แตกต่างออกไปสำหรับไข่ไก่

กรอบแนวคิดของการวิจัย



ภาพประกอบ 1 ตัวแบบการควบคุมผลผลิตภาพการทำฟาร์มไข่ไก่โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ตัวแบบในภาพประกอบ 1 ประกอบด้วยตัวแปรต้นได้แก่ ผลกำไรขาดทุน หมายถึง ราคาไข่หน้าฟาร์ม ลบด้วยค่าใช้จ่ายในการลงทุน อุณหภูมิที่วัดได้ คือ อุณหภูมิในหน่วยเซลเซียส (celcius) ที่วัดด้วยตัวรับรู้อุณหภูมิ (temperature sensor) ที่ติดตั้งอยู่ในฟาร์ม ความชื้นที่วัดได้ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ในฟาร์มเลี้ยงไข่ไก่ ความสว่างที่วัดได้ คือ ความเข้มของแสงสว่างในหน่วยลักซ์ (lux) และตัวแปรตามได้แก่สัญญาณควบคุมอุณหภูมิ สัญญาณควบคุมแสงสว่าง สัญญาณควบคุมความชื้น สัญญาณควบคุมแจ้งเตือนเกษตรกร

4. วิธีการดำเนินการวิจัย

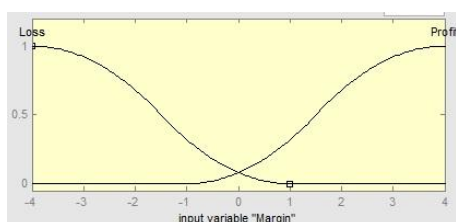
ศึกษาค้นคว้าแนวปฏิบัติที่ดี (best practices) ของการเลี้ยงไข่ไก่และไก่ฟักคชน ข้อมูลราคาขายไข่ไก่ วิเคราะห์และสังเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย พัฒนาตัวแบบคลุมเครือ (fuzzy model) ประเมินผลด้วยการจำลองการทำงาน (simulation) โดยใช้โปรแกรม Matlab R2013b และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง Intel core i5 2.67 Ghz หน่วยความจำหลัก 2 จิกะไบต์

5. ผลการวิจัย

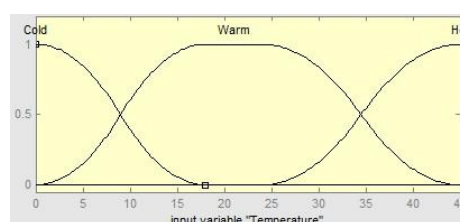
หัวข้อนี้นำเสนอผลการออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฝั่งเงื่อนไข และกฎคลุมเครือสำหรับแต่ละตัวแปรต้น ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฝั่งเงื่อนไขของตัวแปรต้นกำไรขาดทุนแสดงดังภาพประกอบ 2(a) ซึ่งแกนอนแสดงค่ากำไรหรือขาดทุนหน่วยเป็นบาทโดยกำหนดให้อยู่ในช่วงขาดทุนสูงสุด 4 บาทและกำไรสูงสุด 4 บาทซึ่งอ้างอิงมาจาก สถิติราคาไข่ไก่ และต้นทุนไข่ไก่ (มงคล, 2015, September) และแกนตั้งแสดงค่าความเป็นสมาชิกโดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Loss กรณีขาดทุน และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Profit แสดงกรณีกำไร จะเห็นว่าถ้าขาดทุนมากจะทำให้ระดับความเป็นสมาชิกที่เกิดจากฟังก์ชัน Loss มีค่าเพิ่มขึ้นตาม และถ้ากำไรมากจะทำให้ระดับความเป็นสมาชิกที่เกิดจากฟังก์ชัน Profit มีค่าเพิ่มขึ้น

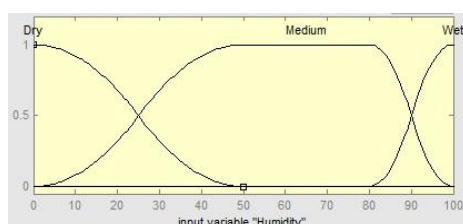
(a) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกผลกำไร



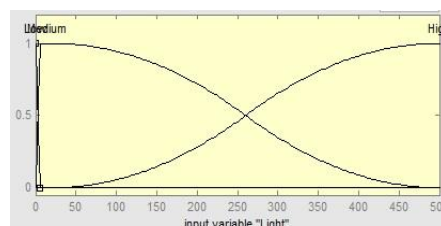
(b) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิ



(c) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของความชื้น



(d) ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแสงสว่าง



ภาพประกอบ 2 การออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

กฎคลุมเครือที่ใช้ในกระบวนการทำให้คลุมเครือและกระบวนการทำให้ไม่คลุมเครือ สำหรับตัวแปรต้นกำไรขาดทุน (Margin) แสดงดังภาพประกอบ 2(a) และตัวแปรตามสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกร (Duty)

If (Margin is Profit) Then (Duty is High)

If (Margin is Loss) Then (Duty is Low)

ในกรณีถ้าตัวแบบจะ ไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ แต่กรณีขาดทุนตัวแบบจะทำการส่งสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกรให้พิจารณาตัดสินใจว่าจะทำการกระบวนการไถ่ปลัดขันธ์หรือไม่ ซึ่งถ้าทำจะต้องเป็นไปตามแนวปฏิบัติที่ดีในหัวข้อ 3 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวคือ เปลี่ยนอาหารไก่ไข่เป็นข้าวโพดบด และจำกัดระยะเวลาให้แสงในช่วงที่เหมาะสมเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อวันตามแนวปฏิบัติที่ดี

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฝั่งเงื่อนไขของตัวแปรต้นอุณหภูมิ ซึ่งแกนอนแสดงค่าอุณหภูมิโดยกำหนดให้อยู่ระหว่าง 0 ถึง 45 องศาตามสภาพแวดล้อมของฟาร์มปิดในประเทศไทย และแกนตั้งแสดงค่าความเป็นสมาชิก โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Cold แทนช่วงอุณหภูมิเย็นคือต่ำกว่า 18 องศาเซลเซียส ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Warm แทนช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการไก่ไข่คือระหว่าง 18 ถึง 24 องศาเซลเซียส (อ้างอิงจากแนวปฏิบัติที่ดีในหัวข้อ 3.แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Hot แทนช่วงอุณหภูมิร้อนคือ สูงกว่า 24 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพประกอบ 2(b) กฎคลุมเครือที่ใช้ในกระบวนการทำให้คลุมเครือและกระบวนการทำให้ไม่คลุมเครือสำหรับตัวแปรต้นอุณหภูมิ (Temperature) และตัวแปรตามสัญญาณควบคุมพัดลมไอน้ำสำหรับปรับ อุณหภูมิ (Duty) เป็นดังต่อไปนี้ ซึ่งถ้าตัวแปรตามเป็น Medium หรือ Low พัดลมไอน้ำสำหรับปรับอุณหภูมิจะหยุดทำงาน

If (Temperature is cold) Then (duty is Low)

If (Temperature is warm) Then (duty is Medium)

If (Temperature is hot) Then (duty is High)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฝั่งเงื่อนไขของตัวแปรต้นความชื้น ซึ่งแกนอนแสดงค่าความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งอยู่ระหว่าง 0% ถึง 100% และแกนตั้งแสดงค่าความเป็นสมาชิก โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Dry แทนช่วงความชื้นต่ำคือค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 50% ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Medium แทนช่วงความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการไถไถคือระหว่าง 50% ถึง 80% (อ้างอิงจากแนวปฏิบัติที่ดีในหัวข้อ 3.แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Wet แทนช่วงความชื้นสูงคือค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 80% แสดงดังภาพประกอบ 2(c)

กฎคลุมเครือที่ใช้ในกระบวนการทำให้คลุมเครือและกระบวนการทำให้ไม่คลุมเครือสำหรับตัวแปรต้นความชื้น (Humidity) และตัวแปรตามสัญญาณควบคุมพัลสไมล์ความชื้น (Duty) เป็นดังต่อไปนี้ ซึ่งถ้าค่าตัวแปรตามเป็น Medium หรือ Low พัลสไมล์ความชื้นจะหยุดทำงาน

If (Humidity is Low) Then (duty is Low)

If (Humidity is Medium) Then (duty is Medium)

If (Humidity is High) Then (duty is High)

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกฝั่งเงื่อนไขของตัวแปรต้นแสงสว่าง ซึ่งแกนอนแสดงค่าแสงซึ่งอยู่ระหว่าง 0 ถึง 500 ลักซ์ในฟาร์มปิดทั่วไปในประเทศไทย และแกนตั้งแสดงค่าความเป็นสมาชิก โดยฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Low แทนช่วงแสงน้อยกว่า 5 ลักซ์ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก Medium แทนช่วงแสงที่เหมาะสมสำหรับไถไถคือระหว่าง 5 ถึง 20 ลักซ์ (อ้างอิงจากแนวปฏิบัติที่ดีในหัวข้อ 3.แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก High แทนช่วงแสงมากกว่า 20 ลักซ์ แสดงดังภาพประกอบ 2(d)

กฎคลุมเครือที่ใช้ในกระบวนการทำให้คลุมเครือและกระบวนการทำให้ไม่คลุมเครือสำหรับตัวแปรต้นแสงสว่าง (Light) และตัวแปรตามสัญญาณควบคุมหลอดไฟส่องสว่าง (Duty) เป็นดังต่อไปนี้ ซึ่งถ้าค่าตัวแปรตามเป็น Medium หลอดไฟจะดับ แต่ถ้าเป็น High จะเป็นการส่งสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกรให้เข้ามาดูแลเพื่อลดปริมาณแสงที่เข้าสู่ฟาร์มไถ

If (Light is Low) Then (duty is High)

If (Light is Medium) Then (duty is Medium)

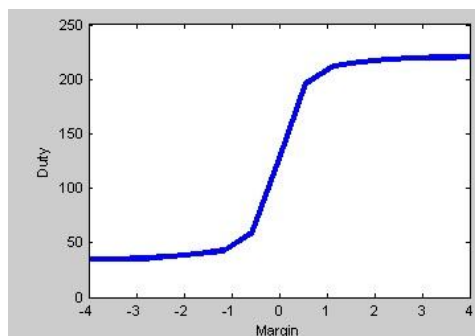
If (Light is High) Then (duty is Low)

6. การประเมินผลการวิจัย

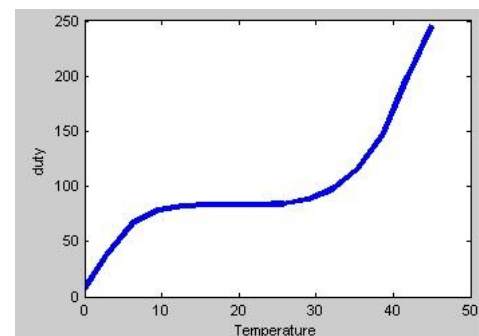
การประเมินตัวแบบที่เสนอในงานวิจัยนี้เป็นการจำลองการทำงานของกระบวนการทำให้ไม่คลุมเครือโดยใช้การอนุมานแบบ Mamdani (Sakti,2014) และวิธีจุดศูนย์กลาง (centroid) ผลการประเมินที่ได้ถูกแสดงในภาพประกอบ 3(a),3(b),3(c),3(d) โดยมีแกนอนคือตัวแปรต้นหรือค่านำเข้าจริง (crisp input) ที่อ่านจากตัวรับรู้แต่ละประเภท และแกนตั้งคือตัวแปรตามหรือค่านำออกจริง (crisp output) ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ปรับสภาพแวดล้อมในฟาร์มไถไถ

การประเมินผลตัวแบบสำหรับตัวแปรต้นกำไรขาดทุนและตัวแปรตามสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกรเพื่อทำการบรรเทาการไถ่ผลัดขนแสดงดังภาพประกอบ 3 (a) ซึ่งจะเห็นว่าถ้าค่าตัวแปรตามต่ำกว่า 125 (นั่นคือเริ่มขาดทุนดังแสดงโดยค่า Margin ติดลบ) ตัวแบบจะทำการส่งสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกรถึงระดับภาวะการขาดทุนเพื่อประกอบการตัดสินใจเข้าสู่การผลัดขนไถ่

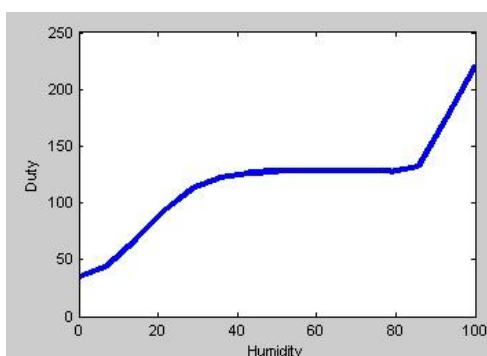
(a) การวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของผลกำไรและค่าสัญญาณควบคุมการผลัดขน



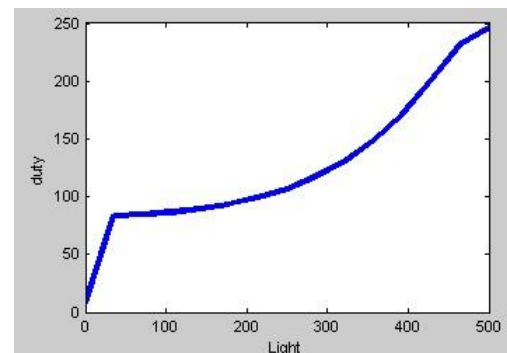
(b) การวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของค่าอุณหภูมิและค่าสัญญาณควบคุมอุณหภูมิ



(c) การวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและค่าสัญญาณควบคุมความชื้น



(d) การวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของค่าแสงสว่างและค่าสัญญาณควบคุมแสงสว่าง



ภาพประกอบ 3 แสดงการวิเคราะห์พื้นผิวความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม

การประเมินผลตัวแบบสำหรับตัวแปรต้นอุณหภูมิและตัวแปรตามสัญญาณควบคุมพัดลมไอน้ำสำหรับปรับอุณหภูมิ แสดงดังภาพประกอบ 3(b) ซึ่งจะเห็นว่าถ้าค่าตัวแปรตามสูงเกิน 125 (นั่นคืออุณหภูมิสูงเกิน 24 องศาเซลเซียส) นั่นคือความชื้นสัมพัทธ์เกิน 80% ภาพประกอบ 3(c) ตัวแบบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมพัดลมไถ่ความชื้นให้ทำงานและถ้าค่าตัวแปรตามยิ่งสูงพัดลมไถ่ความชื้นจะหมุนเร็วขึ้นสอดคล้องกับเส้นกราฟ

การประเมินผลตัวแบบสำหรับตัวแปรต้นแสงสว่างและตัวแปรตามสัญญาณควบคุมหลอดไฟส่องสว่างแสดงดังภาพประกอบ 3(d) ซึ่งจะเห็นว่าถ้าค่าตัวแปรต่ำกว่าประมาณ 10 (นั่นคือแสงสว่างต่ำกว่า 5 ลักซ์) ตัวแบบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมหลอดไฟส่องสว่างให้ทำงานและถ้าค่าตัวแปรตามยิ่งต่ำหลอดไฟจะยิ่งสว่าง

สอดคล้องกับเส้นกราฟ แต่ค่าตัวแปรตามสูงกว่าประมาณ 45 (นั่นคือแสงสว่างเกิน 20 ลักซ์) ตัวแบบจะทำการส่งสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกรให้รีบทราบถึงภาวะแสงเกินและเข้ามาทำการควบคุมด้วยตนเอง

7. สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะ

บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอตัวแบบการควบคุมผลิตภาพฟาร์มไก่ไข่ด้วยทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยมีเป้าหมายคือการนำไปสู่การพัฒนาระบบอินเทอร์เนตออฟทิงส์สำหรับการควบคุมผลิตภาพฟาร์มไก่ไข่ โดยมีข้อมูลนำเข้าได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แสงสว่าง ผลกำไรขาดทุน และมีข้อมูลนำเข้าได้แก่ ค่าสัญญาณสำหรับอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้นในโรงเรือนเลี้ยงไก่ และสำหรับการแจ้งเตือนเกษตรกร การประเมินผลใช้วิธีจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม แมทแลป (Matlab) โดยนำข้อมูลจาก ทฤษฎีการเลี้ยงไก่ไข่ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ พบว่าตัวแบบสามารถทำงานได้สอดคล้องกับแนวปฏิบัติที่ดีดังนี้ (1) เมื่อระดับราคาไข่ไก่เริ่มทำให้เกิดภาวะการขาดทุน ตัวแบบจะทำให้เกิดสัญญาณแจ้งเตือนเกษตรกรเพื่อตัดสินใจทำการขบวนการผลิตขนไก่ (2) เมื่อระดับอุณหภูมิไม่อยู่ช่วงที่เหมาะสมตัวแบบจะทำการปรับระดับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิในฟาร์ม (3) เมื่อระดับความชื้นไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตัวแบบจะปรับระดับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ควบคุมความชื้นในฟาร์มและ (4) เมื่อระดับแสงไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตัวแบบจะปรับระดับสัญญาณควบคุมหลอดไฟในฟาร์มหรือแจ้งเตือนเกษตรกรและสามารถนำตัวแบบคลุมเครือนี้ไปพัฒนาต่อเป็นอินเทอร์เนตออฟทิงส์สำหรับการควบคุมผลิตภาพการทำฟาร์มไก่ไข่โดยใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือ

รายการอ้างอิง

- คำริ ชาญวุฒิ. 2535. การเลี้ยงไก่ในฟาร์มกึ่งส่งเสริมและเผยแพร่งานวิจัยทางเกษตร. กรมการเกษตรสหรัฐ.
- ปฐม เลหาเกษตร. 2540. การเลี้ยงสัตว์ปีก. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และ เทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- มงคล พิพัฒสัตยานุวงศ์. 2558. ผู้ผลิต ผู้ค้าและส่งออกไข่ไก่. December 20, 2015, website: <http://www.egg-thailand.com/ต้นทุนไข่ไก่.html>
- มานิตย์ เทวรักษ์พิทักษ์. 2536. การจัดการฟาร์มสัตว์ปีก. พิมพ์ครั้งที่ 4. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีการสัตว์ คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- อาวุธ ต้นโซ. 2538. การผลิตสัตว์ปีก. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์. คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Bhunja, S.S.; Dhar, S.K.; Mukherjee, N., 2014. "iHealth: A fuzzy approach for provisioning intelligent health-care system in smart city," in Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), **IEEE 10th International Conference on**, vol., no., pp.187-193, 8-10 Oct. 2014
- Bras, S.; Ribeiro, L.; Ferreira, D.A.; Antunes, L.; Nunes, C.S., 2014. "Controlling the hypnotic drug (propofol) to maintain a stable depth of anesthesia, in dogs," in Medical Measurements and Applications (MeMeA), **IEEE International Symposium on**, vol., no., pp.1-5, 11-12 June 2014

- Hidayah, S.N.; Tahir, N.; Rusop, M.; Shah, R.M.S.B., 2011. "Development of fuzzy fish pond water quality model," in Humanities, Science and Engineering (CHUSER), **IEEE Colloquium on** , vol., no., pp.556-561, 5-6 Dec. 2011
- Jampour, M.; Jampour, M.; Ashourzadeh, M.; Yaghoobi, M., 2011. "A Fuzzy Expert System to Diagnose Diseases with Neurological Signs in Domestic Animal," in Information Technology: New Generations (ITNG), **Eighth International Conference on** , vol., no., pp.1021-1024, 11-13
- Kong, L.X.; She, F.H.; Nahavandi, S.; Kouzani, A.Z., 2001. "Fuzzy pattern recognition and classification of animal fibers," in **IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference**, Joint 9th , vol.2, no., pp.1050-1055 vol.2, 25-28 July 2001
- Micera, S.; Jensen, W.; Sepulveda, F.; Riso, R.R.; Sinkjaer, T., 2001. "Neuro-fuzzy extraction of angular information from muscle afferents for ankle control during standing in paraplegic subjects: an animal model," in Biomedical Engineering, **IEEE Transactions on** , vol.48, no.7, pp.787-794, July 2001
- Rui Yang Chen, 2013. "Intelligent IOT-Based Tracing System for Backward Design Using FCM and Fuzzy Rule," in Intelligent Systems (GCIS), **Fourth Global Congress on** , vol., no., pp.229-233, 3-4 Dec. 2013

ตัวแบบการเพิ่มผลิตภาพมันสำปะหลังด้วยความแม่นยำสูงโดยอาศัยระบบคลุมเครือ

A PRECISION CASSAVA PRODUCTIVITY IMPROVEMENT MODEL USING FUZZY SYSTEM

จักรารุช หาญวิเศษ

นักศึกษาปริญญาเอก หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: juy.sonic@gmail.com

ดร.เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่เติบโตได้ในดินเกือบทุกพื้นที่ของประเทศไทย การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังนั้นต้องอาศัยน้ำซึ่งเป็นเรื่องยากในการควบคุมผลิตผลมันสำปะหลังให้ได้ผลผลิตตามต้องการ เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชไม่ชอบน้ำ การที่มีน้ำหรือความชื้นในดินมากเกินไปจะทำให้เกิดโรครากเน่าแต่หากน้อยเกินไปจะเกิดการชะงักต่อการเจริญเติบโต เกษตรกรส่วนใหญ่ยังขาดความรู้และการวางแผนการผลิต ดังนั้นผลผลิตที่ได้จึงมีต้นทุนสูง เพื่อช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ งานวิจัยนี้จึงเสนอตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลของสภาพแวดล้อมต่างๆ จากตัวรับรู้ที่ได้ติดตั้งไว้ในแปลงมันสำปะหลัง ได้แก่ ความชื้นในดิน อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่างของดิน ความเค็มของดิน ธาตุฟอสฟอรัส ธาตุโปแทสเซียม ธาตุสังกะสี และอินทรีย์วัตถุในดิน ตัวแบบที่เสนอถูกประเมินด้วยวิธีการจำลองการทำงานพบว่าให้ผลลัพธ์การทำงานที่ถูกต้อง

คำสำคัญ : ผลิตภาพมันสำปะหลัง ตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ABSTRACT

Cassava is a plant that grows in the soil of almost all areas in Thailand. To increase the productivity of cassava requires water. This makes desired cassava productivity difficult because the cassava is hydrophobic. The amount of water or too much moisture in the soil causes root rot, but if they are too little, the growth of cassava will be halted. Most farmers still lack such knowledge and production planning. Thus, cassava yield contains high costs. To solve these problems, this paper proposes a fuzzy logic capable of the analysis of various environmental data collected by in-farm sensors such as soil moisture, temperature, soil pH, soil

salinity, phosphorus, potassium, zinc and organic substance in the soil. The proposed model has been evaluated by means of simulation and its results was found to be valid.

KEYWORDS : Cassava productivity, Fuzzy logic

1. บทนำ

มันสำปะหลัง “พืชแห่งศตวรรษที่ 21” พืชที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่สำคัญ อย่างคาร์โบไฮเดรต ธาตุเหล็ก แคลเซียม โปรตีน และวิตามินดี สามารถใช้ทดแทนข้าวโพด หรือข้าวสาลี เป็นวัตถุดิบต้นน้ำที่สำคัญต่ออุตสาหกรรมต่างๆ รวมถึงเป็นอีกหนึ่งพืชเศรษฐกิจหลักที่มีความสำคัญของประเทศไทย สร้างรายได้ในการส่งออก และจากอุตสาหกรรมต่อเนื่องรวมกันกว่าปีละสามแสนล้านบาท อย่างไรก็ตามกว่าร้อยละ 30 ของเกษตรกรผู้ปลูกมันสำปะหลัง ยังพบปัญหาในการปลูกมันสำปะหลังคือ ไม่สามารถเตรียมการเพาะปลูก และดูแลได้เต็มที่ เนื่องจากขาดทุนทรัพย์ ขาดความรู้ทางวิชาการ พื้นที่เพาะปลูกเสื่อมโทรมเนื่องจากขาดการบำรุงดิน ขาดการจัดการน้ำเพื่อการเกษตร การเกิดโรคระบาด การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศจากภาวะโลกร้อน ส่งผลให้มีปริมาณผลผลิตต่อไร่ต่ำกว่ามาตรฐานของสายพันธุ์ที่ทำได้ ทำให้ผลผลิตเฉลี่ยโดยรวมของประเทศได้เพียง 3.6 ตันต่อไร่

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ(Fuzzy logic model) ที่มีความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลของสภาพแวดล้อมจากตัวรับรู้(Sensor)ต่างๆที่ติดตั้งไว้ที่แปลงทดลอง โดยวิธีการจำลองการนำเสนอรูปแบบผลลัพธ์ที่ได้จากเจ็ดปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมคือ ความชื้นดิน(Soil moisture) อุณหภูมิโดยรอบพื้นที่แปลงทดลอง(Temperature) ความเป็นกรด-ด่างของดิน(PH) ความเค็มของดิน(EC) ธาตุฟอสฟอรัส(P) ธาตุโปแทสเซียม(K) ธาตุสังกะสี(Zn) และอินทรีย์วัตถุในดิน(OM) เพื่อใช้ในการควบคุมการผลิตภาพมันสำปะหลังให้มีความแม่นยำในการให้น้ำตามความเหมาะสมในแต่ละชนิดของดินโดยอัตโนมัติ ป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับผลผลิตมันสำปะหลังจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากภาวะโลกร้อนได้ทันการ

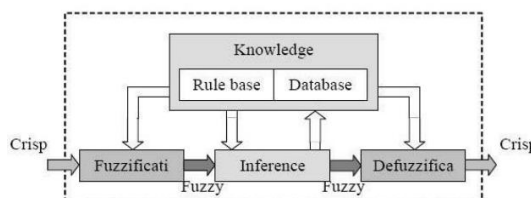
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลัง ด้วยตัวแบบการจัดการความชื้นในดิน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีตรรกศาสตร์คลุมเครือ

3. กรอบแนวคิดและทฤษฎี

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ คือตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งที่มีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและแน่นอน จึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ในการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือจะเริ่มจากการแปลงอินพุตที่เป็นตัวเลขให้เป็นเซตของตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzification) ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมในการตีความหมายโดยใช้วิธีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ โดยใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership function) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละอินพุตและความสำคัญต่อผลลัพธ์ที่สนใจ โดยอาศัยหลัก

ของเหตุและผล ถ้า-แล้ว (If-Then) และจะแปลงกลับเซตของตรรกศาสตร์คลุมเครือให้เป็นตัวเลขด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ (Defuzzification) โดยรูปแบบโครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลตรรกศาสตร์คลุมเครือ แสดงได้ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยต้องการสร้างตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อควบคุมความชื้นของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ทำให้ผู้วิจัยต้องทำการศึกษาหลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานของระบบดังนี้

มันสำปะหลัง พืชหัวชนิดหนึ่ง เป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักไปในดิน ตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นรากฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือนรากจะค่อยๆ สะสมแป้ง และมีขนาดโตขึ้น เรียกว่าหัวมันสำปะหลัง และในหัวมันสำปะหลังจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบถึงร้อยละ 60 – 70 (ต่อ 100 กรัม น้ำหนักหัว) เมื่อฝนตกดินที่แห้งจะดูดซึมน้ำเข้าไปเก็บไว้ระหว่างช่องว่างของเม็ดดิน และถ้าปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะเกิดสถานะ “ดินอมน้ำ” ดินเนื้อหยาบจะอมน้ำได้เร็วกว่าดินเนื้อละเอียด ดินที่อมน้ำจะมีผลเสียต่อรากของมันสำปะหลัง แต่ถ้าดินขาดน้ำเพิ่มขึ้นจนมันสำปะหลังไม่สามารถดึงความชื้นในดินออกมาได้ จนถึงจุดนี้เรียกว่า “จุดเหี่ยวเฉา” จะทำให้เกิดการชะงักต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ในขณะที่อุณหภูมิ จะมีผลกระทบต่ออัตราการคายน้ำของมันสำปะหลัง สามแบบคือ 1) เพิ่มการคายน้ำ เพราะอุณหภูมิสูงทำให้เสียน้ำมากขึ้น 2) ลดความชื้นสัมพัทธ์ด้านนอกของใบ 3) เพิ่มพลังงานให้กับอนุภาคของไอน้ำและการแพร่ออกจากใบ (วิจารณ์ วิชชกิจ, 2550: ออนไลน์)

เกษตรกรรมความแม่นยำสูง (Precision Farming, Precision Agriculture, Smart Farm, Intelligent Farm) คือเกษตรกรรมความแม่นยำสูง ซึ่งเป็นที่นิยมกันมากในประเทศสหรัฐอเมริกา อิสราเอล ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น และยุโรป เป็นการทำการเกษตรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยเกษตรกรสามารถจะปรับใช้ทรัพยากรให้สอดคล้องกับสภาพของพื้นที่ย่อยๆ รวมไปถึงการดูแลอย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ ทั้งการหว่านเมล็ดพืช การให้ปุ๋ย การใช้ยาปราบศัตรูพืช การไถพรวนดิน การรดน้ำ การคัดเลือกผลผลิต การเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น การให้ปุ๋ยในฟาร์มอัจฉริยะจะทำได้ด้วยความแม่นยำกว่า โดยอาจจะใช้เครื่องสแกนสภาพดินในไร่ (Soil Mapping) เพื่อเก็บข้อมูลว่าบริเวณต่างๆ มีความอุดมสมบูรณ์แตกต่างกันอย่างไร ตรงไหนขาดแร่ธาตุชนิดใด ลักษณะดินร่วนซุยต่างกันแค่ไหน ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกเก็บเข้าไปในฐานข้อมูลที่เชื่อมโยงกับแผนที่ของฟาร์ม แล้วสามารถดาวน์โหลดไปยังเครื่องหยอดปุ๋ยบนรถไถที่ติด GPS (Global Positioning System) ทำให้การหยอดปุ๋ยสามารถกำหนดได้ว่า จะหยอดปุ๋ยชนิดใด ลงตำแหน่งใดในฟาร์มมากหรือน้อย จะเห็นได้ว่าฟาร์มอัจฉริยะมีความแตกต่างกับฟาร์มธรรมดาตรงที่ใช้ทรัพยากรเป็นไปอย่างแม่นยำและตรงต่อความต้องการของพืช ช่วยลดการสูญเสียทรัพยากร

การให้ปุ๋ยที่ไม่มากเกินไปช่วยทำให้ดินไม่เสีย ไม่เกิดการล้นของแร่ธาตุที่อาจทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมลงได้ ซึ่งเป็นไปไม่ได้เลยสำหรับเกษตรกรแบบดั้งเดิมไม่ว่าจะเป็นเกษตรกรเคมี หรือ เกษตรอินทรีย์ ที่การให้ปุ๋ยก็จะให้เท่ากันทั่วทั้งไร่ เกษตรกรรมความแม่นยำสูง ต้องประกอบด้วยเรื่องสำคัญ 3 เรื่องคือ (1) สารสนเทศ (2) เทคโนโลยี (3) การบริหารจัดการ โดยตั้งอยู่บนแนวคิดที่ว่า พืชพันธุ์ที่ปลูก และสภาพล้อมรอบ (ดิน น้ำ แสง อากาศ) ในไร่นามีความแตกต่างกัน ในแต่ละบริเวณหรือพื้นที่ย่อยๆ ถึงแม้จะอยู่ในไร่เดียวกันก็ตาม สภาพล้อมรอบที่แตกต่างกันนี้ มีผลให้เกิดผลผลิตแตกต่างกันได้ ดังนั้นจึงต้องดูแลพื้นที่เหล่านั้นแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลให้สร้างผลผลิต ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด (ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ, 2550: ออนไลน์)

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Elpiniki, Athanasios และ Theofanis, (2009). นำเสนอการนำตรรกศาสตร์คลุมเครือมาใช้ร่วมกับการรับรู้แผนที่ปัญญาในการบริหารจัดการดูแลกับการผลิตฝ้าย โดยตัวแบบที่สร้างขึ้นใช้ฐานความรู้จากประสบการณ์ โดยระบบสามารถอัปเดตข้อมูลที่ได้จากตัวรับรู้ต่างๆ เช่น ข้อมูลดินหรือค่าเคมีต่างๆ และจำนวนผลผลิตซึ่งสามารถแสดงผลได้จากความแตกต่างของน้ำหนักรวมผลผลิต ซึ่งมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของดินที่ใช้ปลูก แต่ระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นในระยะแรก ระบบจึงมีความซับซ้อน

Elpiniki, Athanasios และ Theofanis, (2011). ทำการศึกษากระบวนการของผลการทำนายผลผลิตฝ้าย พบว่าการหลอมรวมตรรกศาสตร์คลุมเครือและการรับรู้แผนที่ปัญญาเพื่อใช้ตัวแบบนี้เป็นมาตรฐานของระบบผู้เชี่ยวชาญในการใช้กับพืชฝ้ายซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการปรับปรุงอัลกอริทึมของตรรกศาสตร์คลุมเครือลดความซับซ้อน โดยคำนึงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเพื่อทำการปรับปรุงข้อมูลให้ดียิ่งขึ้น

Philomine, Clarence และ N Ganesan, (2012). ออกแบบและพัฒนาระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือผู้เชี่ยวชาญ เพื่อแก้ปัญหาและจัดการกับข้าวฟ่าง ระบบผู้เชี่ยวชาญนี้ถูกออกแบบให้ใช้ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อการวิเคราะห์ถึงปัญหา การควบคุมและปรับปรุงการวัดสำหรับการบริหารจัดการบรรจุผลผลิตข้าวฟ่าง ซึ่งการวิจัยนี้เป็นเพียงครั้งแรกที่มีการออกแบบพัฒนาโดยใช้วิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือ

Elpiniki, K.D., Theofanis และ G.D. (2013). ทำการศึกษากระบวนการของผลการทำนายผลผลิตแอปเปิล งานวิจัยนี้มองถึงความสัมพันธ์ของเครื่องมือการรับรู้ สำหรับตัวแบบและการจำลองระบบโดยจะค่อยๆปรับค่าไปเรื่อยๆเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่จะสามารถเป็นตัวแทนของระบบผู้เชี่ยวชาญให้กับการควบคุมของผลผลิตแอปเปิล เห็นได้ว่าระบบนี้ยังใช้รูปแบบอัลกอริทึมเดิมเพียงแต่ใช้ค่าใหม่ที่ได้จากค่าจากตัวรับรู้และจำนวนผลผลิตของแอปเปิล

Sonal, R.K., S.S. (2013). นำเสนอบทความเกี่ยวกับการนำระบบผู้เชี่ยวชาญตรรกศาสตร์คลุมเครือในการทำเกษตร งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นความสำคัญในการนำระบบผู้เชี่ยวชาญตรรกศาสตร์คลุมเครือ ในการตัดสินใจเข้ามาช่วยในการดำเนินการใดก็ตามงานเกษตรซึ่งสามารถช่วยให้ลดต้นทุนทางการเกษตรลง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตสินค้าทางการเกษตรเพิ่มขึ้น

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่าองค์ความรู้ที่ได้จากการพัฒนาตรรกศาสตร์คลุมเครือ ส่วนใหญ่ถูกนำมาใช้ในการทำนายปริมาณผลผลิตหรือต้นทุนที่เกิดขึ้นในกิจกรรมต่างๆ ปัจจุบันนำเข้ามาส่วนมากให้ความสำคัญกับปริมาณธาตุอาหารในดินของพืชในแต่ละชนิด ไม่มีการนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความเครียดของดินซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่

เกี่ยวข้องกับความชื้นในดิน หรือปริมาณธาตุอาหารต่างๆที่เหมาะสมจำเพาะต่อมันสำปะหลัง ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลังที่ดีได้

5.วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบพัฒนา และประเมินคุณภาพของระบบการตัดสินใจ ที่จะนำมาใช้สร้างเป็นกฎคลุมเครือ ในเรื่องความสามารถในการควบคุมความชื้นในดินที่เหมาะสมสำหรับมันสำปะหลัง โดยการจำลองผ่านโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) รุ่น R2014a (8.3.0.532)

5.1 แนวปฏิบัติที่ดีในการปลูกมันสำปะหลัง

ในส่วนนี้ได้นำเสนอข้อมูลสำหรับตัวแบบที่สร้างขึ้น (Crisp input) โดยค่าปัจจัยความชื้นที่เหมาะสมกับดินในแต่ละชนิดและปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากดินในแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในการดูดซับแรงยึดของน้ำไม่เท่ากัน ซึ่งภาวะที่น้ำตกอยู่ภายใต้แรงดึงดูดของสิ่งหนึ่งสิ่งใดทำให้มีอิสระภาพที่จะเคลื่อนที่ได้น้อยลงนี้เรียกว่าน้ำนั้นมีความเคียด ซึ่งความเคียดของน้ำในดินเป็นปัจจัยกำหนดระดับความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืช กล่าวคือพืชจะดูดกินน้ำจากดินได้ยากหรือง่ายเพียงใดขึ้นอยู่กับความเคียดของน้ำในดิน ถ้าความเคียดของน้ำในดินสูง(น้ำในดินถูกดูดยึดอยู่ด้วยแรงสูง) พืชก็จะดูดกินน้ำจากดินได้ยาก เรียกว่าน้ำในดินนั้นมีระดับความเป็นประโยชน์ต่ำ พืชจะดูดกินแต่ละโมเลกุลของน้ำในดินได้จะต้องออกแรงเอาชนะความเคียดของน้ำโมเลกุลนั้นให้ได้ ซึ่งค่าปัจจัยความชื้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสามารถหาได้จากผลต่างระหว่างค่าความชื้นชลประทานและค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาแสดงในตารางที่ 1 โดยค่าที่ได้เหล่านี้จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนารูปแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือของเราในส่วนถัดไป

ตารางที่ 1 แสดงค่าความชื้นในดิน ที่มีผลต่อคุณลักษณะของเนื้อดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	ความชื้นชลประทาน % โดยน้ำหนักของดินแห้ง	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉา % โดยน้ำหนักของดินแห้ง
ดินทราย	6 - 12	2 - 6
ดินร่วนปนทราย	10 - 18	4 - 8
ดินร่วน	18 - 26	8 - 12
ดินร่วนปนเหนียว	23 - 31	11 - 15
ดินเหนียว	31 - 39	15 - 19

ที่มา: จากคู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน 2554

อีกหนึ่งปัจจัยสำคัญของงานวิจัยนี้คือ อุณหภูมิซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง ดังจะแสดงในตารางที่ 2 และในส่วนของค่าปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือเป็นค่าปัจจัยที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร ซึ่งเป็นค่าปัจจัยจากคู่มือวิชาการส่งเสริมการเกษตร มันสำปะหลัง ในการนำเข้ามาใช้ในการกำหนดฟังก์ชันสมาชิก เนื่องจากเป็นค่าผลการวิจัยที่ได้รับการยอมรับทางวิชาการแล้ว

ตารางที่ 2 แสดงพฤติกรรมของน้ำมันส่าปะหลังที่อุณหภูมิในช่วงต่างๆ

อุณหภูมิอากาศ (°C)	ผลทางสรีรวิทยาของน้ำมันส่าปะหลัง	อุณหภูมิอากาศ (°C)	ผลทางสรีรวิทยาของน้ำมันส่าปะหลัง
<17 or >37	การแทงยอดจะไม่ดี	< 17	อัตราการผลิตไบโกลดลง น้ำหนักลดลง
28.5 - 30	การแทงยอดเร็ว	28	อัตราการผลิตไบโเพิ่มขึ้นแต่อายุใบสั้น
<15	หยุดการเจริญเติบโต	25 - 30	การแตกกิ่งน้อยลง
16 - 38	น้ำมันส่าปะหลังสามารถโตได้	30 - 40	การสังเคราะห์แสงในโรงเรือนสูงสุด
25 - 29	ช่วงที่น้ำมันส่าปะหลังเจริญเติบโตได้ดี	16 - 30	การสังเคราะห์แสงในแปลงสูงสุด

ที่มา: จากคู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร น้ำมันส่าปะหลัง กรมส่งเสริมการเกษตร 2551

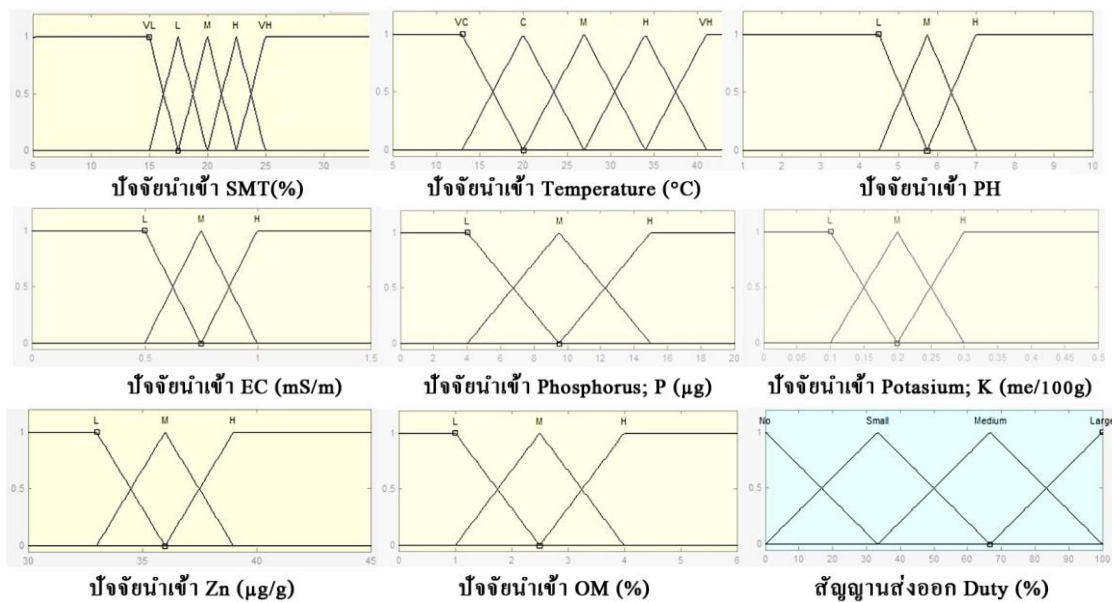
5.2 ตัวแบบระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ในส่วนนี้นำเสนอการสร้างตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยนำค่าปัจจัยในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 มากำหนดเป็นฟังก์ชันสมาชิกให้กับตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ในการออกแบบระบบให้กับน้ำมันส่าปะหลังจะคำนึงถึงเหตุและผลที่ส่งผลกระทบต่อน้ำมันส่าปะหลัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้องค์ความรู้ต่างๆที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ยึดค่าปัจจัยต่างๆที่ได้จากคู่มือการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช (สำนักอุทกนิยมิวิทยาและบริหารน้ำ กรมชลประทาน, (2554) หน้า 6-8), คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร น้ำมันส่าปะหลัง (กรมส่งเสริมการเกษตร, (2551) หน้า 3-6) และใช้รูปแบบการดำเนินการเก็บข้อมูลตามคู่มือการปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับน้ำมันส่าปะหลัง (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2553) หน้า 2-10) ในการนำมากำหนดสร้างฟังก์ชันสมาชิกให้กับตัวแบบคลุมเครือที่สร้างขึ้น โดยตัวแปรนำเข้าสำหรับระบบนี้มีตัวแปรที่สำคัญหลายตัวแปรดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงตัวแปรนำเข้าที่ใช้ในระบบ

แนวคิด	รายละเอียดและการวัด	Premise membership functions
SMT	ความเครียดของน้ำในดิน (Soil Moisture Tension : SMT) : (%)	Five fuzzy
Temp	อุณหภูมิ (Temperature ; Temp) : (°C)	Five fuzzy
PH	ความเป็นกรด-ด่าง (pH) : ที่ความลึก 0-30 cm.	Three fuzzy
EC	ความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Available Moisture ; AM) : (%)	Three fuzzy
P	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P) : ที่ความลึก 0-30 cm.(ppm)	Three fuzzy
K	โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K) : ที่ความลึก 0-30 cm.(ppm)	Three fuzzy
Zn	สังกะสีที่เป็นประโยชน์ (Zn) : ที่ความลึก 0-30 cm.(ppm)	Three fuzzy
OM	อินทรีย์วัตถุในดิน (Organic Matter : OM) : %	Three fuzzy

จากตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และค่าปัจจัยจากคู่มือนักวิชาการเกษตร น้ำมันส่าปะหลัง กรมส่งเสริมการเกษตร จึงนำค่าที่ได้มาออกแบบกราฟเพื่อสร้างคุณลักษณะให้กับตัวแบบคลุมเครือ ซึ่งกราฟจะแสดงดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 ฟังก์ชันสมาชิกของ SMT, Temperature, PH, EC, P, K, Zn, OM และผลลัพธ์(Duty)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฟังก์ชันสมาชิกแบบสามเหลี่ยม (Triangular membership function) เนื่องจากมีความง่าย เป็นที่นิยมในการใช้งาน อีกทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เลือกใช้ใช้งาน โดยรูปแบบ ดังแสดงในสมการที่ (1) จึงกำหนดกฎตามโครงสร้าง (ถ้า – แล้ว) ให้กับตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ได้ดังตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 10

$$Triangular(x;a,b,c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x-a)/(b-a) & a \leq x \leq b \\ (c-x)/(c-b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \quad (1)$$

ตารางที่ 4 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับความเครียดของดิน และอุณหภูมิ (SMT, Temperature)

ถ้าความเครียดของดิน	และอุณหภูมิ	ดังนั้นระดับผลลัพธ์	ถ้าความเครียดของดิน	และอุณหภูมิ	ดังนั้นระดับผลลัพธ์
ต่ำมาก	หนาว	ไม่มีสัญญาณ	กลาง	ร้อน	กลาง
ต่ำมาก	เย็น	ไม่มีสัญญาณ	กลาง	ร้อนมาก	กลาง
ต่ำมาก	สบาย	น้อย	สูง	หนาว	กลาง
ต่ำมาก	ร้อน	กลาง	สูง	เย็น	กลาง
ต่ำมาก	ร้อนมาก	กลาง	สูง	สบาย	มาก
ต่ำ	หนาว	น้อย	สูง	ร้อน	มาก
ต่ำ	เย็น	น้อย	สูง	ร้อนมาก	มาก
ต่ำ	สบาย	น้อย	สูงมาก	หนาว	กลาง
ต่ำ	ร้อน	กลาง	สูงมาก	เย็น	กลาง
ต่ำ	ร้อนมาก	กลาง	สูงมาก	สบาย	มาก
ปานกลาง	หนาว	น้อย	สูงมาก	ร้อน	มาก
ปานกลาง	เย็น	น้อย	สูงมาก	ร้อนมาก	มาก
ปานกลาง	สบาย	กลาง			

ตารางที่ 5 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับความเป็นกรด-ด่างของดิน (PH)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์
ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	น้อย
ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	น้อย	สูง	กลาง	น้อย
ต่ำ	สูง	น้อย	กลาง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ไม่มี

ตารางที่ 6 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับความเค็มของดิน (EC)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์
ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	น้อย
ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	น้อย	สูง	กลาง	น้อย
ต่ำ	สูง	น้อย	กลาง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ไม่มี

ตารางที่ 7 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับธาตุฟอสฟอรัส (P)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์
ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	น้อย
ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	น้อย	สูง	กลาง	น้อย
ต่ำ	สูง	น้อย	กลาง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ไม่มี

ตารางที่ 8 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับธาตุโปแตสเซียม (K)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์
ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	น้อย
ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	น้อย	สูง	กลาง	น้อย
ต่ำ	สูง	น้อย	กลาง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ไม่มี

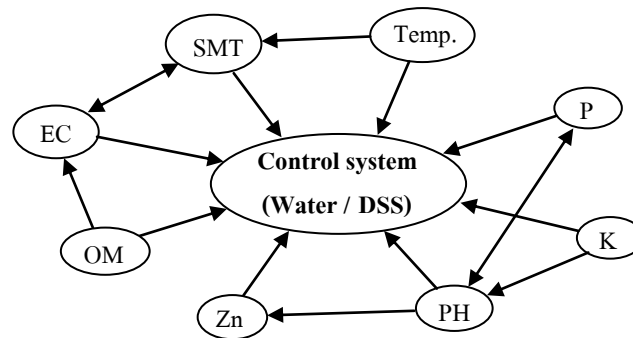
ตารางที่ 9 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับธาตุสังกะสี (Zn)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์
ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	น้อย
ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	น้อย	สูง	กลาง	น้อย
ต่ำ	สูง	น้อย	กลาง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ไม่มี

ตารางที่ 10 แสดงกฎคลุมเครือสำหรับอินทรีย์วัตถุในดิน (OM)

ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์	ข้อมูลนำเข้า	ค่าผิดพลาด	ผลลัพธ์
ต่ำ	ต่ำ	สูง	กลาง	ต่ำ	กลาง	สูง	ต่ำ	น้อย
ต่ำ	กลาง	กลาง	กลาง	กลาง	น้อย	สูง	กลาง	น้อย
ต่ำ	สูง	น้อย	กลาง	สูง	น้อย	สูง	สูง	ไม่มี

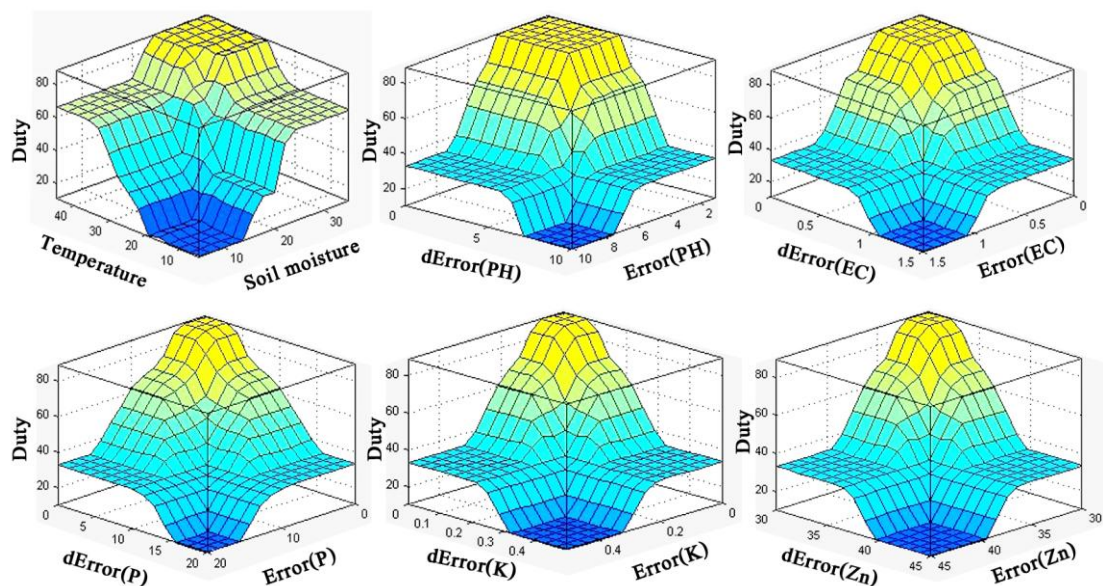
ในการกำหนดกฎต่างๆ ให้กับตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ นั้น จะคำนึงถึงความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย ซึ่งมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ จะแสดงดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 : แผนภาพตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ

6. การประเมินผลการวิจัย

หลังจากได้สร้างตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตามที่ต้องการแล้ว ผลลัพธ์การคำนวณตามสมการที่ (1) และสมการที่ (2) ที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรมแมทแล็บ ของงานวิจัยนี้ คือ Duty ซึ่งเป็นระดับสัญญาณดิจิทัล โดยใช้วิธีหาจุดศูนย์ถ่วงแบบ Centroid ผลการวิเคราะห์ที่ได้ จึงขึ้นอยู่กับกำหนดฟังก์ชันสมาชิก ดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 ผลลัพธ์การจำลองของแต่ละฟังก์ชันสมาชิกในตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ค่าผลลัพธ์ (Duty) สะท้อนให้เห็นถึงระดับสัญญาณนำเข้าตัวแบบที่สร้างขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับระบบการควบคุม เช่นค่าความเคียดดินเพิ่มขึ้นจากถูกพืชดูดน้ำไปใช้งาน จะส่งให้ระบบการควบคุมความชื้นดินทำการจ่ายน้ำมากยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มระดับความชื้นในดิน ผลการประเมินตัวแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรมแมทแล็บ แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน และอุณหภูมิ

ตัวแปรต้น		ค่า duty (%)
ความชื้นของดิน (%)	อุณหภูมิ (°C)	
15	15	13
17.5	20	33.3
20	25	55.9
22.5	30	69.8
25	35	89

จากตารางที่ 11 จะพบว่าค่าผลลัพธ์ที่ได้มีความสอดคล้องกันกับปัจจัยนำเข้าที่จะส่งผลต่อการควบคุมความชื้นในดิน ซึ่งตรงกับแนวทางการปฏิบัติที่ดีต่อมันสำปะหลัง

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลลัพธ์การจำลองตัวแบบที่สร้างขึ้น พบว่าความชื้นของดินและอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์ต่อกัน เช่น เมื่อความชื้นในดินสูงและอากาศร้อนจะส่งผลให้ความชื้นในดินลดลง ซึ่งตัวแบบที่สร้างขึ้นสามารถวิเคราะห์หาระดับความชื้น และแร่ธาตุอาหารในดินที่เหมาะสมต่อความต้องการของมันสำปะหลังพร้อมแนะนำการใส่ปุ๋ยให้กับเกษตรกร เป็นการเพิ่มผลผลิต ลดความเสี่ยงของผลผลิตที่เกิดจากภาวะโลกร้อนได้ งานวิจัยชิ้นต่อไปในอนาคต คือการปรับใช้ตัวแบบที่สร้างขึ้นทำงานบนสถาปัตยกรรมอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (IoT) ซึ่งจะนำตัวรับรู้ไปติดตั้งยังแปลงทดลอง เชื่อมต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และส่งข้อมูลขึ้นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบสถานะต่างๆ ของความชื้นในดินตลอดทั้งแร่ธาตุอาหารของมันสำปะหลัง ผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน หรือแท็บเล็ต ก่อให้เกิดความสะดวกต่อการเตรียมการวางแผนการผลิตให้แก่เกษตรกรมากยิ่งขึ้น

8. รายการอ้างอิง

วิจารณ์ วิชชุกิจ. (2550). “เทคนิคการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่”. 16 พฤศจิกายน 2557. แหล่งที่มา

http://www.thaitapiocastrach.org/article10_th.asp .

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. (2550). “PRECISION FARMING / SMART FARM”. 16 พฤศจิกายน 2557. แหล่งที่มา

http://nanotech.sc.mahidol.ac.th/i-sense/precision_farming.html .

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (2557). “ยุทธศาสตร์การวิจัยประเด็นด้านอุตสาหกรรมมันสำปะหลัง”. 16 พฤศจิกายน 2557. แหล่งที่มา http://www.nrct.go.th/Portals/0/data/2557/RPP/strategyResearch_sub/23-ยุทธศาสตร์วิจัยมันสำปะหลัง.pdf .

16 พฤศจิกายน 2557. แหล่งที่มา http://www.nrct.go.th/Portals/0/data/2557/RPP/strategyResearch_sub/23-ยุทธศาสตร์วิจัยมันสำปะหลัง.pdf .

strategyResearch_sub/23-ยุทธศาสตร์วิจัยมันสำปะหลัง.pdf .

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2557). “ยุทธศาสตร์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมมัน

สำปะหลังประเทศไทย (พ.ศ. 2555 -2559) และโปรแกรมวิจัยและพัฒนามันสำปะหลังภายใต้แผน

กลยุทธ์การวิจัยและพัฒนา สวทช.ระยะที่ 2 พ.ศ. 2554-2559(Strategic Planning Alliance II: SPA

II)”. 16 พฤศจิกายน 2557.แหล่งที่มา <http://nstda.or.th/pub/2012/20120523-cassava-strategy-2012-2016.pdf>

2016.pdf

สำนักนิเทศและถ่ายทอดเทคโนโลยีการพัฒนาคูณดิน. (2550). “กลยุทธ์ในการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง.

16 พฤศจิกายน 2557. แหล่งที่มา http://www.idd.go.th/menu_Dataonline/G2/G2_01.pdf .

E.I. Papageorgiou, A.T. Markinos, T.A. Gemtos, Fuzzy cognitive map based approach for predicting yield in cotton crop production as a basis for decision support system in precision agriculture application, **Applied Soft Computing**, Volume 11, Issue 4, June 2011, Pages 3643-3657, ISSN 1568-4946, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2011.01.036>.

E.I. Papageorgiou, K.D. Aggelopoulou, T.A. Gemtos, G.D. Nanos, Yield prediction in apples using Fuzzy Cognitive Map learning approach, **Computers and Electronics in Agriculture**, Volume 91, February 2013, Pages 19-29, ISSN 0168-1699, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.11.008>.

Elpiniki I. Papageorgiou, Athanasios Markinos, Theofanis Gemptos, Application of fuzzy cognitive maps for cotton yield management in precision farming, **Expert Systems with Applications**, Volume 36, Issue 10, December 2009, Pages 12399-12413, ISSN 0957-4174, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2009.04.046>.

Sonal Dubey, S. S. Gautam. “Literature Review on Fuzzy Expert System in Agriculture”. **International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)** ISSN: 2231-2307, Volume-2, Issue-6, January 2013, Pages 289-291. <http://www.ijscce.org/attachments/File/v2i6/F1186112612.pdf>

สถานภาพและความพร้อมของการแลกเปลี่ยนธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ด้าน

e-Filing และ e-Report ของประเทศไทย

SITUATION AND READINESS OF ELECTRONIC TRANSACTIONS

WITH e-Filing AND e-Reporting IN THAILAND

ชัยพร ทบแป

บัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: chaiporn.th@gmail.com

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง

บัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: prasong.pr@spu.ac.th

พิรพัฒน์ จันทร์

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานภาพและความพร้อมของการแลกเปลี่ยนธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-filing และ e-Reporting ของประเทศไทย เพื่อจะได้ทราบถึงปัญหาอย่างแท้จริงของธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและจะได้มีการพัฒนาการเตรียมความพร้อมด้านต่าง ๆ จากร่างแผนแม่บทเกี่ยวกับธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย พ.ศ.2556-2560 ของสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน) โดยได้แบ่งประเภทของกิจกรรมการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 5 ด้าน ประกอบด้วย e-Trading and Service, e-Payment, e-filing and e-Reporting, e-Certification และ e-Medical Record ซึ่งในการวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจโดยเน้นการศึกษาเรื่อง e-Document อันประกอบด้วย e-Filing และ e-Reporting และผู้วิจัยได้นำเสนอกรอบ e-Document สำหรับการพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย เพราะ e-Document เป็นจุดเริ่มต้นของการเข้าถึงและนำไปสู่การใช้งานกิจกรรมธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ การวิจัยได้ศึกษาถึงขอบเขต รวบรวมข้อมูลสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ ปัจจัยโครงสร้างพื้นฐาน กฎหมาย นโยบายภาครัฐ มาตรฐานความมั่นคงปลอดภัย การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล องค์กรหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน ประชาชน ผู้ใช้งานและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งผลของการวิจัยจะส่งผลให้มีการนำไปสู่การเพิ่มปริมาณมูลค่าทางเศรษฐกิจและยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน ในยุคการพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมอย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์, e-Filing, e-Reporting, e-Document

ABSTRACT

This research aims to investigate the situation and the readiness of e-Transaction in e-Filing and e-Reporting in Thailand in order to acknowledge the actual problems found and to prepare the system of model scheme B.E. 2556 - 2560 of Electronic Transactions Development Agency (Public Organization). e-Transactions can be divided into 5 categories; e- Trading and Service, e- Payment, e- Filing and e- Reporting, e- Certification and e-Medical Record. The study is the survey research focusing on e-Filing and e- Reporting as it leads to the beginning of e-Transaction. In addition, the researcher demonstrate a propose framework for e-Document of e-Transaction in Thailand. Moreover, the study also investigate the scope, collecting data, and the environment; for example, infrastructure factors, laws, government policy, safety standard, privacy information protection, government sector and private sector, relevant persons, users, and related sector. The result of the study would add the value of the economics and enhance people life quality in era of Digital Economy and Society.

KEYWORDS: Electronic Transactions, e-Filing, e-Reporting, e-Document

1.บทนำ

ปัจจุบันกระแสการใช้ธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์เข้ามามีบทบาทอย่างสูงสืบเนื่องมาจากกระแสของเครือข่ายสังคมออนไลน์และเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เป็นปัจจัยเกื้อหนุน การใช้สมาร์ทโฟนเป็นการเอื้ออำนวยความสะดวกให้สามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลา การพัฒนาซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชันให้สอดคล้องกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่มีราคาถูกลงทำให้ผู้ใช้งานมีความคุ้นเคยและยอมรับการใช้งานมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานทางด้านธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับประเทศไทยยังประสบปัญหาอยู่มากพอสมควรสืบเนื่องมาจากการพัฒนาการทำธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศขาดความต่อเนื่อง อีกทั้ง การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วก็มีผลต่อการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์รูปแบบใหม่ ๆ ความไม่เข้ากันของระบบปฏิบัติการและฐานข้อมูลต่าง ๆ ที่ทำให้ข้อมูลไม่สามารถเข้ากันได้ ระบบความมั่นคงปลอดภัยข้อมูล การขาดระบบการพิสูจน์ตัวตน ทำให้ผู้ใช้งานขาดความเชื่อมั่นและส่วนใหญ่ยังมีความเข้าใจที่คลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างปลอดภัย

ด้วยเหตุนี้การศึกษาสภาพภาพและความพร้อมของการแลกเปลี่ยนธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-Filing และ e-Report ที่มีประสิทธิภาพของประเทศไทย จะเป็นตัวจักรสำคัญที่จะช่วยบูรณาการยกระดับการมีส่วนร่วมระหว่างภาครัฐ ภาคเอกชนและประชาชน ให้ใช้ธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เพื่อพัฒนาขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ รองรับกาเปิดการค้าและการลงทุนเสรี ภายใต้กรอบประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนในปี พ.ศ.2558 หรือ AEC 2015 และทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจประชาคมโลกซึ่งจะเป็นการพัฒนาเตรียมความพร้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

ผู้วิจัยต้องการศึกษาสภาพภาพและความพร้อมของการแลกเปลี่ยนธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-Filing และ e-Reporting ในประเทศไทย พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางกรอบในการพัฒนา ส่งเสริม ผลักดันและสนับสนุนการแลกเปลี่ยนธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-Filing และ e-Reporting เพื่อยกระดับประเทศไทยให้มีมาตรฐานสากลรองรับการแข่งขันในเวทีโลกและมีประสิทธิภาพอย่างยั่งยืน

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดการศึกษาทฤษฎีตามกรอบกฎหมายเทคโนโลยีสารสนเทศ ตามพระราชบัญญัติว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2544 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 118 ตอนที่ 112 หน้า 26 ลงวันที่ 4 ธันวาคม 2544 และพระราชบัญญัติว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์(ฉบับที่ 2) พ.ศ.2551 เล่มที่ 125 ตอนที่ 33 ก หน้า 26 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2551 ได้มีการบัญญัติความหมายของคำที่เกี่ยวข้องในการดำเนินกิจกรรมทางธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ดังนี้

“ธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์” ตามความหมายของสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์(องค์การมหาชน) นั้น หมายถึง กิจกรรมที่กระทำขึ้นระหว่างหน่วยธุรกิจ บุคคล รัฐ ตลอดจนองค์กรเอกชนหรือองค์กรของรัฐใด ๆ เพื่อวัตถุประสงค์ทางธุรกิจ การค้า การบริการและการดำเนินงานราชการ โดยใช้วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดหรือบางส่วน ตามความหมายของกฎหมาย

“ธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์” ตามความหมายของพระราชบัญญัติว่าด้วยธุรกรรมว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2544 นั้น หมายความว่า ธุรกรรมที่กระทำขึ้นโดยใช้วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดหรือแต่บางส่วน

“ธุรกรรม” หมายความว่า การกระทำใด ๆ ที่เกี่ยวกับกิจกรรมในทางแพ่งและพาณิชย์หรือในการดำเนินงานของรัฐตามที่กำหนด ซึ่งประกอบด้วย คำขอ การอนุญาต การจดทะเบียน คำสั่งทางปกครอง การชำระเงิน การประกาศ หรือการดำเนินการใด ๆ ตามกฎหมายกับหน่วยงานของรัฐหรือโดยหน่วยงานของรัฐ ถ้าได้กระทำในรูปของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดโดยพระราชกฤษฎีกา ให้นำพระราชบัญญัตินี้มาใช้บังคับและให้ถือว่ามีผล โดยชอบด้วยกฎหมายเช่นเดียวกับการดำเนินการตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กฎหมายในเรื่องนั้นกำหนด ทั้งนี้ในพระราชกฤษฎีกาอาจกำหนดให้บุคคลที่เกี่ยวข้องต้องกระทำหรือคว่นกระทำการใด ๆ หรือให้หน่วยงานของรัฐออกระเบียบเพื่อกำหนดรายละเอียดในบางกรณีด้วยก็ได้ในการออกพระราชกฤษฎีกาตามวรรคหนึ่ง พระราชกฤษฎีกาดังกล่าวอาจกำหนดให้ผู้ประกอบธุรกิจบริการเกี่ยวกับธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ต้องแจ้งให้ทราบ ต้องขึ้นทะเบียน หรือต้องได้รับใบอนุญาต แล้วแต่กรณีก่อนประกอบกิจการก็ได้ ในกรณีนี้ให้นำบทบัญญัติในหมวด 3 และบทกำหนดโทษที่เกี่ยวข้องมาใช้บังคับโดยอนุโลม

“อิเล็กทรอนิกส์” หมายความว่า การประยุกต์ใช้วิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ โทรน ไฟฟ้า คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า หรือวิธีอื่นใดในลักษณะคล้ายกัน และให้หมายความรวมถึงการประยุกต์ใช้วิธีการทาง แสง วิธีการทางแม่เหล็ก หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีต่าง ๆ เช่นว่านั้น

“ข้อความ” หมายความว่า เรื่องราวหรือข้อเท็จจริง ไม่ว่าจะปรากฏในรูปแบบของตัวอักษร ตัวเลข เสียง ภาพ หรือรูปแบบอื่นใดที่สื่อความหมายได้โดยสภาพของสิ่งนั้นเองหรือโดยผ่านวิธีการใด ๆ

“ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์” หมายความว่า ข้อความที่ได้สร้าง ส่ง รับ เก็บรักษา หรือ ประมวลผลด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น วิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ โทรเลข โทรพิมพ์ หรือโทรสาร

“ลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์” หมายความว่า อักษร อักษรระ ตัวเลข เสียงหรือสัญลักษณ์อื่นใดที่สร้างขึ้นให้อยู่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งนำมาใช้ประกอบกับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลกับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุตัวบุคคลผู้เป็นเจ้าของลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์นั้น และเพื่อแสดงว่าบุคคลดังกล่าวยอมรับข้อความในข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์นั้น

“ระบบข้อมูล” หมายความว่า กระบวนการประมวลผลด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้าง ส่ง รับ เก็บรักษา หรือประมวลผลข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

“การแลกเปลี่ยนข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์” หมายความว่า การส่งหรือรับข้อความด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐานที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

“ผู้ส่งข้อมูล” หมายความว่า บุคคลซึ่งเป็นผู้ส่งหรือสร้างข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ก่อนจะมีการเก็บรักษาข้อมูลเพื่อส่งไปตามวิธีการที่ผู้นั้นกำหนด โดยบุคคลนั้นอาจจะส่งหรือสร้างข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตนเอง หรือมีการส่งหรือสร้างข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ในนามหรือแทนบุคคลนั้นก็ได้อันนี้ไม่รวมถึงบุคคลที่เป็นสื่อกลางสำหรับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์นั้น

“ผู้รับข้อมูล” หมายความว่า บุคคลซึ่งผู้ส่งข้อมูลประสงค์จะส่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ให้และได้รับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์นั้น ทั้งนี้ไม่รวมถึงบุคคลที่เป็นสื่อกลางสำหรับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์นั้น

“บุคคลที่เป็นสื่อกลาง” หมายความว่า บุคคลซึ่งกระทำการในนามผู้อื่นในการส่ง รับ หรือเก็บรักษาข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์อันใดอันหนึ่งโดยเฉพาะ รวมถึงให้บริการอื่นที่เกี่ยวกับข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์นั้น

“ใบรับรอง” หมายความว่า ข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์หรือการบันทึกอื่นใด ซึ่งยืนยันความเชื่อมโยงระหว่างเจ้าของลายมือชื่อกับข้อมูลสำหรับใช้สร้างลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์

“เจ้าของลายมือชื่อ” หมายความว่า ผู้ซึ่งถือข้อมูลสำหรับใช้สร้างลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์และสร้างลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์นั้นในนามตนเองหรือแทนบุคคลอื่น

“คู่กรณีที่เกี่ยวข้อง” หมายความว่า ผู้ซึ่งอาจกระทำการใดๆ โดยขึ้นอยู่กับใบรับรองหรือลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์

“หน่วยงานของรัฐ” หมายความว่า กระทรวง ทบวง กรม ส่วนราชการที่เรียกชื่ออย่างอื่นและมีฐานะเป็นกรม ราชการส่วนภูมิภาค ราชการส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจที่ตั้งขึ้นโดยพระราชบัญญัติหรือพระราชกฤษฎีกา และให้หมายความรวมถึงนิติบุคคล คณะบุคคล หรือบุคคลซึ่งมีอำนาจหน้าที่ดำเนินงานของรัฐไม่ว่าในการใดๆ

“คณะกรรมการ” หมายความว่า คณะกรรมการธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์

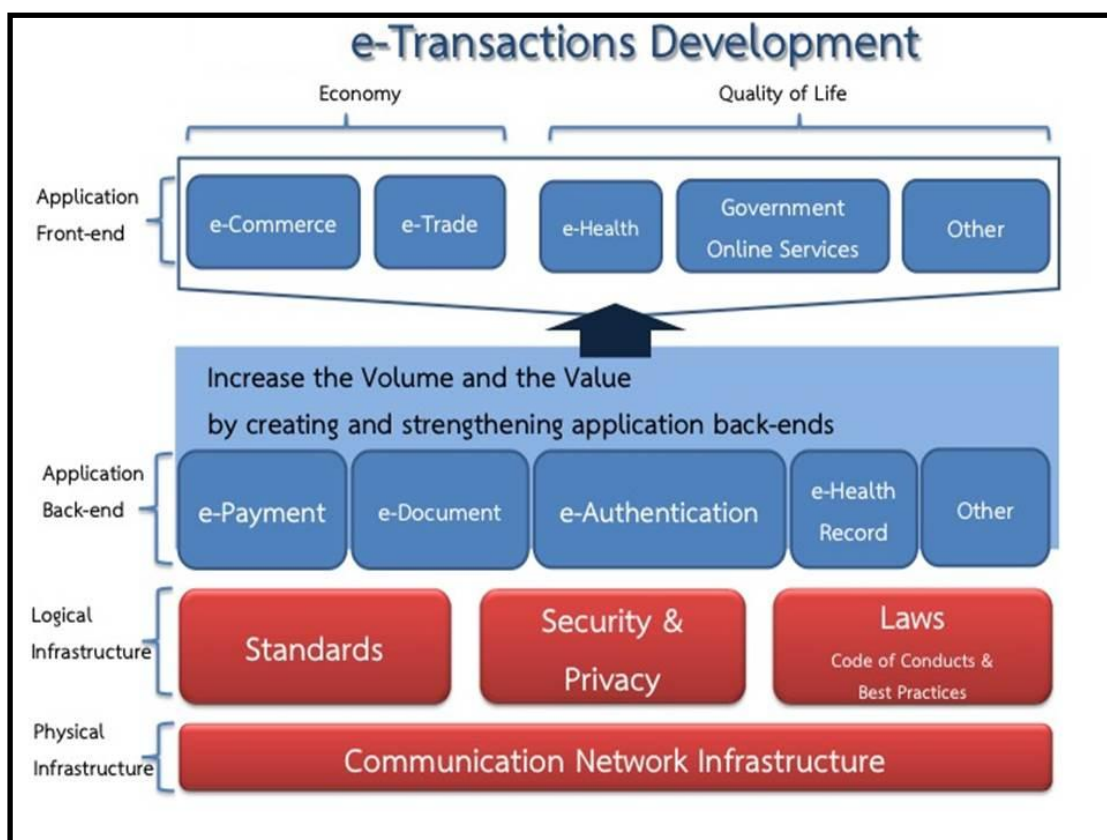
e-Filing คือ การยื่นคำร้อง คำขอหนังสือหรือเอกสารทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นหนังสือราชการทางออนไลน์ จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้และอัปโหลดไฟล์เหล่านั้นผ่านอินเทอร์เน็ต

e-Filing คือ เป็นระบบการจัดเก็บไฟล์เอกสารบนอินเทอร์เน็ต การจัดเก็บเอกสารสามารถจัดเก็บได้หลายรูปแบบ เช่น เก็บไว้ในแฟ้ม เก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือ เก็บไว้ในแผ่นดิสก์ ระบบ e-filing ก็เป็นการจัดเก็บเอกสารอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งอาจจะมีความแตกต่างกันที่ระบบ e-filing จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้

และอัปโหลดไฟล์เหล่านั้นผ่านอินเทอร์เน็ตได้ กรณีที่ไม่ได้อยู่ที่ทำงานแต่ต้องการใช้อเอกสารเหล่านั้นก็สามารถเข้าสู่ระบบ E-filing แล้วทำการ Download ไฟล์เอกสารไปใช้ได้เช่นกัน เพื่อความสะดวกในการทำงานและทำให้การทำงานรวดเร็วยิ่งขึ้น

e-Reporting คือ การจัดทำรายงานและเผยแพร่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดทางออนไลน์

ปัจจุบันสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์(องค์การมหาชน) หรือ ETDA ได้ออกกรอบการพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย พ.ศ.2556-2560 เพื่อใช้เป็นแนวทางยุทธศาสตร์ในการจัดระเบียบ ออกกติกา ชี้นำแนวทางการพัฒนานำไปสู่การปฏิบัติ รวมทั้งส่งเสริมและสนับสนุนให้ภาคเอกชนและภาคประชาชนร่วมดำเนินการไปสู่ความสำเร็จที่ยั่งยืน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบการพัฒนาธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย พ.ศ. 2556-2560

จากกรอบและทิศทางของสำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์(องค์การมหาชน) ตามร่างแผนแม่บทเกี่ยวกับธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย พ.ศ.2556-2560 ตามรูปที่ 1 นั้น ได้มีการแบ่งโครงสร้างออกเป็นทั้งหมด 4 ชั้น ประกอบด้วยชั้นต่างๆ ดังนี้

1. โครงสร้างพื้นฐานทางด้านเครือข่ายสื่อสาร (Physical Infrastructure)
 2. โครงสร้างทางการกำหนดมาตรฐาน ความปลอดภัย กฎหมายและกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง (Logical Infrastructure)

3. โปรแกรมการใช้งานหลังบ้าน (Application Back-end)

4. โปรแกรมการใช้งานหน้าบ้าน (Application Front-end)

แท้จริงแล้ว ตามกรอบและทิศทางตามร่างแผนแม่บทเกี่ยวกับธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย พ.ศ.2556-2560 ได้แบ่งประเภทของกิจกรรมการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

1. e-Trading and Service คือ การซื้อขายสินค้าหรือบริการทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นการตกลงแลกเปลี่ยนสินค้าหรือบริการ หรือทั้งสองอย่างในเชิงพาณิชย์

2. e-Payment คือ การชำระเงินทางอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการโอนสิทธิ์การถือครองเงินหรือการโอนสิทธิการถอนเงิน หรือหักเงินจากบัญชีเงินฝากของผู้ใช้บริการที่เปิดไว้กับผู้ให้บริการด้วยวิธีการทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดหรือบางส่วน

3. e-Filing คือ การยื่นคำร้อง คำขอหนังสือหรือเอกสารทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นระบบหนังสือราชการทางออนไลน์ จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถเรียกใช้และอัปโหลดไฟล์เหล่านั้นผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้ และ e-Reporting คือ การจัดทำรายงานและเผยแพร่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดได้ทางอินเทอร์เน็ตหรือออนไลน์ได้

4. e-Certification คือ การรับรองสิทธิ์ เป็นการรับรองหรืออนุญาตให้ใช้สิทธิ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ใบอนุญาต ใบรับรองและการขึ้นทะเบียน

5. e-Medical Record คือ การจัดเก็บข้อมูลประวัติการรักษาผู้ป่วยของสถานพยาบาลหรือสถานบริการสาธารณสุขที่จัดเก็บไว้ในรูปของข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการเชื่อมโยงและแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างสถานพยาบาล เพื่อประโยชน์ต่อการให้บริการรักษาอย่างต่อเนื่อง

จะเห็นได้ว่า ประเภทของการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 5 ประเภท จะมีส่วนเกี่ยวข้องกับหลาย ๆ กลุ่ม เช่น ภาครัฐ ภาคเอกชนและภาคประชาชน โดยมีความมุ่งหวังเพื่อให้เกิดความสะดวกสบายและเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชน ในภาครัฐก็สามารถนำมาเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและลดค่าใช้จ่าย รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพให้กับภาครัฐ ส่วนในกลุ่มภาครัฐเป็นการนำเอาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนารัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้บริการประชาชนผ่านช่องทางออนไลน์ สร้างความสะดวกและรวดเร็วในการให้บริการ อีกทั้งยังเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ความถูกต้องแม่นยำและลดค่าใช้จ่ายภาครัฐ

การศึกษาเอกสารอนุสนธิสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการใช้การติดต่อทางอิเล็กทรอนิกส์ในสัญญา ระหว่างประเทศ ค.ศ.2005 เป็นอนุสนธิสัญญาที่มีวัตถุประสงค์ในการกำหนดกรอบเบื้องต้นในการใช้การสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความเท่าเทียมกับเอกสารธรรมดา ขจัดปัญหาอุปสรรคทางกฎหมายต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากปฏิบัติตามตราสารทางกฎหมายการค้าระหว่างประเทศและการแก้ไขปัญหามาบางประเด็นของกฎหมายแม่แบบของคณะกรรมการการกฎหมายการค้าระหว่างประเทศแห่งสหประชาชาติว่าด้วยพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ค.ศ.1996 (UNCITRAL Model Law on Electronic Commerce 1996) และกฎหมายแม่แบบว่าด้วยลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์ ค.ศ.2001 (UNCITRAL Model law on Electronic Signature 2001) ซึ่งเป็นต้นแบบในการจัดทำพระราชบัญญัติว่า

ด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2551 ของประเทศไทยในปัจจุบัน เพื่อให้สอดคล้องรองรับหลักการใหม่ในการทำธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้น

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

T. Santhanamerya และ T. Ramayahb (2555) ได้ทำการวิจัยโดยศึกษาความต่อเนื่องของความตั้งใจในการใช้ระบบการยื่นคำร้อง คำขอหนังสือหรือเอกสารทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Filing) ซึ่งเป็นหนังสือราชการทางออนไลน์ในประเทศมาเลเซียที่ให้บริการแก่ประชาชนมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 ในกรณีศึกษาเป็นการสำรวจประชาชนใน 5 เมืองใหญ่ของประเทศมาเลเซียที่มีต่อระบบการจ่ายภาษี ในงานวิจัยพบว่ามีความสัมพันธ์ในระดับมากระหว่างความตั้งใจในการใช้ระบบการยื่นคำร้องทางอิเล็กทรอนิกส์กับความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามก็ดี คณะผู้วิจัยได้นำเสนอแนวทางที่เหมาะสมในการลดความเสี่ยงดังกล่าว

Anna Che Azmi และ Ng Lee Bee (2553) ได้ทำการวิจัยโดยศึกษาการยอมรับระบบการยื่นคำร้องทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-Filing) สำหรับการเสียภาษีในประเทศมาเลเซีย โดยได้ศึกษาวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับระบบการยื่นคำร้อง ในที่นี้ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบการยอมรับเทคโนโลยีของเดวิท (2532) และนำเสนอตัวแบบการยอมรับเทคโนโลยีสำหรับระบบการยื่นคำร้องทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเรียบง่ายกว่าตัวแบบของเดวิท

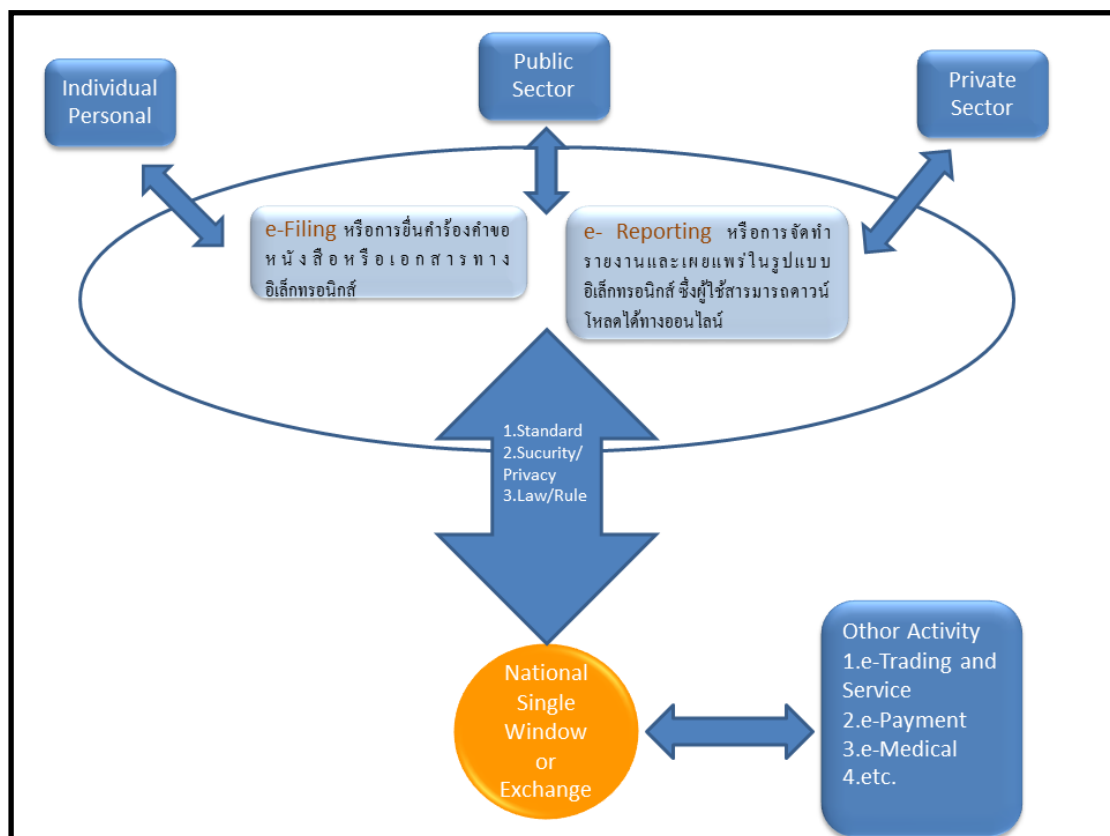
5. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจโดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยจากการเก็บข้อมูลที่เป็นเอกสาร นโยบาย กฎหมาย อนุสนธิสัญญาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนศึกษาข้อมูลจากกระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร รวมทั้ง หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับระบบการเชื่อมโยงข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ณ จุดเดียว (National Single Window) หรือ NSW จำนวน 38 หน่วยงานและทำการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้บริหารในหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งที่เป็นผู้ใช้งานและหน่วยงานปฏิบัติในการวางระบบ อาทิ บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) บริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในด้าน e-Filing และ e-Reporting เป็นต้น

6. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนของการวิจัยอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับ รวมทั้งได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าสภาพและความพร้อมของการแลกเปลี่ยนธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-filing และ e-Reporting ของประเทศไทย นั้นยังไม่สมบูรณ์พอ ทั้งด้าน นโยบาย และแนวทางที่เป็นมาตรฐานการปฏิบัติ อย่างไรก็ตามก็ดี ผลการวิจัยยืนยันว่าภาครัฐบาล ภาคเอกชน และภาคประชาชน ทั้ง 3 ภาคส่วนดังกล่าวนี้ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดต่อสื่อสารกันเพื่อให้เกิดการปฏิสัมพันธ์การแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการ ดังนั้น การทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทางด้าน e-Filing เช่น การยื่นคำขอใช้บริการ การกรอกแบบฟอร์มต่าง ๆ และสามารถแปรผลเป็น e-Reporting สำหรับเผยแพร่ในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ทันทีจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมาก

นอกจากนั้น ผลการวิจัย ผู้วิจัยได้นำเสนอกรอบ e-Document สำหรับการพัฒนารูขรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย โดยเน้น e-Document ที่ประกอบไปด้วย e-Filing และ e-Reporting ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2 อีกทั้งกรอบ e-Document จำเป็นต้องมีการกำหนดมาตรฐานความมั่นคงปลอดภัยหรือความเป็นสิทธิส่วนบุคคลและมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องอันจะมีผลต่อการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการให้ดำเนินการไปได้ อย่างมั่นใจ ถูกต้อง แม่นยำ และ รวดเร็ว ในการนำส่ง



รูปที่ 2 กรอบ e-Document สำหรับการพัฒนารูขรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย

7. สรุปผลการวิจัย

ปกติกิจกรรมการทำธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็น 5 ด้าน ประกอบด้วย e-Trading and Service, e-Payment, e-filing and e-Reporting, e-Certification และ e-Medical Record หากแต่ผู้วิจัยสนใจศึกษาวิจัยเรื่องสภาพภาพและความพร้อมของการแลกเปลี่ยนธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-filing และ e-Reporting หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า e-Document ผู้วิจัยได้นำเสนอกรอบ e-Document สำหรับการพัฒนารูขรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย ซึ่งเรื่อง e-Filing และ e-Reporting เพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการเข้าถึง และนำไปสู่การใช้งานกิจกรรมธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ การวิจัยได้ศึกษาถึงขอบเขต รวบรวมข้อมูล สภาพแวดล้อมต่าง ๆ อาทิ ปัจจัยโครงสร้างพื้นฐาน กฎหมาย นโยบายภาครัฐ มาตรฐานความมั่นคงปลอดภัย

การคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล องค์กรหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน ประชาชน ผู้ใช้งานและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

8. อภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยพบว่าการทำธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ด้าน e-Filing และ e-Reporting ยังต้องอาศัยปัจจัยในหลายๆ มิติช่วยผลักดันให้ประสบความสำเร็จ โดยเฉพาะความเชื่อมั่นของผู้ใช้งานในด้านความมั่นคงปลอดภัย ด้านมาตรฐานที่ประเทศไทยจะต้องเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนและยกระดับสู่สากลบนเวทีโลก ด้านกฎหมายถึงแม้ปัจจุบันจะมีพระราชบัญญัติว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นกฎหมายสำคัญแต่ยังไม่มีกฎหมายฉบับใดกำหนดหลักเกณฑ์ มาตรฐานกลางที่จะใช้ในการเชื่อมโยงข้อมูลและหน้าที่ของหน่วยงานจำเป็นจะต้องมีการกำหนดมาตรฐานเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อมูลและด้านการระบุตัวตน การยืนยันตัวตนบุคคลและการรับรองตัวตนและการคุ้มครองข้อมูล ซึ่งต่อไปจะมีข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ในการเชื่อมโยงข้อมูลในระดับนานาชาติผ่าน ระบบการเชื่อมโยงข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ ณ จุดเดียว (National Single Window: NSW) และมีผลจะทำให้เกิดการทำการธุรกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ อาทิ e-Payment เป็นต้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้เป็นเพียงการศึกษาวิจัยเบื้องต้นเท่านั้น ผู้วิจัยจะได้มีการนำผลที่ได้ไปขยายผลให้มีความสมบูรณ์และเกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้งานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- วงศ์กร มโนสุภาภักดิ์. (2555). แนวทางการแก้ไขพระราชบัญญัติว่าด้วยธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ พ.ศ.2544 ให้สอดคล้องกับอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการใช้การสื่อสารทางอิเล็กทรอนิกส์ในสัญญาระหว่างประเทศ สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน).
- สำนักกฎหมาย ศูนย์กฎหมายเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน). (2558). กฎหมายเทคโนโลยีสารสนเทศ. Online available: www.ictlawcenter.or.th, เข้าถึงข้อมูลเมื่อ 20 ตุลาคม 2558
- สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์(องค์การมหาชน). (2556). ร่างแผนแม่บทเกี่ยวกับธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทย พ.ศ.2556-2560. Online available: www.etda.or.th เข้าถึงข้อมูลเมื่อ 20 ตุลาคม 2558
- Abdul Raufu Ambali. (2009). "E-Government Policy: Ground Issues in E-Filing System," **European Journal of Social Sciences**. 11, 2: 249-266.
- Alan Davidson. (2009). **The Law of Electronic Commerce**. Cambridge University Press.
- Azmi, A, C and Bee, N, G.. (2010). "The Acceptance of the e-Filing System by Malaysian Taxpayers: a Simplified Model," **Electronic Journal of e-Government**. 8, 1: 13 – 22.
- Faye Fangfei Wang. (2014). **Law of Electronic Commercial Transactions: Contemporary Issues in the EU, US and China**. 2nd Edition. Routledge Research in IT and E-Commerce Law. Routledge Publisher.

Schaupp LC, and Carter L. (2010). “The impact of trust, risk and optimism bias on e-file adoption,”
Information Systems Frontiers 2010; 12(3): 299-309.

Stephen Blythe. (2012). **An E-Commerce Law for the World: The Model Electronic Transactions ACT: The Model Electronic Transactions**. Xlibris Publisher. 2012.

T. Santhanamery and T. Ramayah. (2012). “Continued Usage Intention of E-Filing : The Role of Optimism Bias,” **Procedia - Social and Behavioral Sciences**. 65, 1: 397 – 403.

**การวิเคราะห์สถานการณ์ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์และพัฒนาดัชนีความพร้อม
ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐ**

**AN ANALYSIS OF CYBERSECURITY SITUATION AND DEVELOPMENT
OF INDEX FOR CYBERSECURITY READINESS IN
PUBLIC ORGANIZATIONS**

สุภาพร พรหมโส

บัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: papim1968@gmail.com

ประสงค์ ปราณีตพลกรัง

บัณฑิตศึกษา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: prasong.pr@spu.ac.th

พิรพัฒน์ จันทร์

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาถึงสถานการณ์ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐ ปัญหาภัยคุกคาม สาเหตุหลักของการเกิดภัยคุกคามไซเบอร์ และพัฒนาดัชนีสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับองค์กรภาครัฐใน 20 กระทรวง การวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบผสม โดยการวิจัยเชิงคุณภาพ ได้ศึกษาเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ เอกสารทางวิชาการ ยุทธศาสตร์ และนโยบายของกระทรวงไอซีที ที่เกี่ยวข้องกับไอซีทีและความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ การสัมภาษณ์เชิงลึก รวมทั้ง การสนทนากลุ่มกับผู้เชี่ยวชาญ นอกจากนี้ การวิจัยเชิงปริมาณ ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามกับกลุ่มผู้บริหารและผู้ปฏิบัติงานด้านไอซีทีและด้านไซเบอร์ในองค์กรภาครัฐ 20 กระทรวง ผลการวิจัยพบว่า สถานการณ์ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์นั้น สาเหตุหลักของการเกิดภัยคุกคามด้านไซเบอร์ในองค์กรภาครัฐ เกิดจากปัจจัยภายใน อาทิ บุคลากรที่รู้เท่าไม่ถึงการณ์และขาดความตระหนักรู้ และสาเหตุรอง คือระบบหรือเทคโนโลยีที่ใช้งาน เช่น ช่องโหว่ในซอฟต์แวร์ ไวรัส หรือเวิร์ม ต่อมาเป็นสาเหตุจากปัจจัยภายนอก เช่น เกิดจากแฮกเกอร์ เกิดจากการก่ออาชญากรรม และเกิดจากการก่อการร้าย นอกจากนี้ ยังได้ค้นพบ ดัชนีสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์สำหรับองค์กรภาครัฐ จำนวน 7 ด้าน ด้วยกัน

คำสำคัญ : ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ดัชนีความพร้อม ภัยคุกคามไซเบอร์

ABSTRACT

This research has two main purposes, which are: 1. To study and analyze the situation such as problem, cyber threat, and cause in cybersecurity in public organization, and 2. To develop cybersecurity readiness indicator for organizations. The research employed the mixed method. The qualitative method that is to study from the policy document, research paper, and related document include interview and focus group with cybersecurity experts to find cybersecurity situation and readiness. The quantitative method, the researcher use questionnaire to survey the executives and network administrators in public organizations with 20 ministries. The research findings showed that the main internal problems of organizations are the careless and insufficient skill of people on cyber awareness. The secondary problem is network vulnerability and malicious software. The main external problems are hacker, cybercrime, and cyber terrorism. Moreover, based on the study and analysis of cyber risk components together with ITU & ABI Research and ISO27032, the researcher found 7 Cybersecurity Readiness Index.

KEYWORDS : Cybersecurity, Readiness Indicator, Cyber Threat

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารหรือไอซีทีได้นำโลกเข้าสู่ยุคไซเบอร์ที่มีการใช้คอมพิวเตอร์ และอินเทอร์เน็ตอย่างแพร่หลาย เช่น การทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การสื่อสารโทรคมนาคม เป็นต้น เมื่อโลกทุกวันนี้เป็นโลกไร้พรมแดนที่ประชากรมากกว่า 3500 ล้านคนทั่วโลกที่ไร้ขีดจำกัดของการใช้งานอินเทอร์เน็ต จึงกลายเป็นประเด็นความท้าทายร่วมกันในการบริหารจัดการเพื่อให้การดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพของประชาชนในสังคมประเทศ ภูมิภาค นานาชาติ มีความสงบสุข ปราศจากภัยอาชญากรรมทางไซเบอร์ที่ต่อเนื่องเพิ่มมากขึ้นทุกวัน การบริหารจัดการในการป้องกันและปราบปรามภัยทางโลกไซเบอร์ จึงนับว่าเป็นความท้าทายร่วมกันของมนุษยชาติในการรังสรรค์ให้สังคมออนไลน์หรือวิถีชีวิตในโลกไซเบอร์ มีความมั่นคงปลอดภัย สามารถใช้เครื่องมือไอซีทีในโลกไซเบอร์ได้ด้วยความมั่นใจ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมได้อย่างเต็มที่ ประเด็นด้านการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ จึงเป็นที่ยอมรับร่วมกันทั่วโลกว่า เป็นความรับผิดชอบร่วมกัน ที่ต้องร่วมมือกันในทุกระดับ นับตั้งแต่ระดับชุมชน หน่วยงาน กองทัพ ประเทศ และในระดับสากล

อย่างไรก็ดี สถานการณ์ปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถานการณ์ความมั่นคง มีความอ่อนไหวและซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ประเทศของเราต้องเผชิญกับภัยคุกคามความมั่นคงทั้งในรูปแบบเดิม และรูปแบบใหม่ ภัยคุกคามรูปแบบใหม่ที่เกิดขึ้น อาทิ การก่อการร้ายทางไซเบอร์ตามที่ได้กล่าวถึง มีพัฒนาการซับซ้อนมากขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งในทางเทคนิคและวิธีการ และสืบคลานไปสู่อุปกรณ์ไอซีทีแทบทุกชนิด และก่อให้เกิดความเสียหายต่อทุกภาคส่วน อีกทั้งยังต้องเผชิญกับภัยคุกคามยุคใหม่ในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การโจมตีทางการค้า การโจมตีทางทหาร และการโจมตีต่อหน่วยงานภาครัฐ เป็นต้น

เราจะเห็นได้ว่า การระบุและวิเคราะห์ภัยคุกคามที่ชัดเจนดังเช่นในอดีตทำได้ยาก ดังนั้น จึงต้องหาวิธีใหม่ในการแก้ไขปัญหาด้วยความรวดเร็ว รอบคอบ และ ใช้ทักษะความรู้ ความเชี่ยวชาญขั้นสูงในการปฏิบัติ ใน

ขณะเดียวกัน ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร และอุปกรณ์ดิจิทัลที่มีคุณภาพ ประสิทธิภาพสูง ในราคาที่ถูกลง ทำให้การก่ออาชญากรรมทางโลกไซเบอร์กระทำได้ง่ายขึ้นและเป็นปัญหาที่มีความอ่อนไหวมากขึ้นทุกวัน ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่ทุกคน ทุกองค์กรไม่ควรละเลย ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์นั้นไม่ได้หมายถึงเพียงแต่ความมั่นคงปลอดภัยของอุปกรณ์ทางกายภาพต่าง ๆ เท่านั้น แต่หมายถึงทุกส่วนของระบบไซเบอร์ที่มีความเชื่อมโยงทำงานเกี่ยวข้องกันและสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดภัยคุกคามก็เนื่องมาจากการมีโครงสร้างพื้นฐานที่แตกต่างกัน รวมทั้ง การใช้งานในรูปแบบที่แตกต่างกัน นั่นเอง

แท้จริงแล้ว การศึกษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์นั้นจะเป็นการศึกษาถึงกระบวนการหรือการกระทำทั้งหมดที่จำเป็น เพื่อทำให้องค์กรปราศจากความเสี่ยง และความเสียหายที่มีผลต่อความมั่นคงปลอดภัยของข้อมูลข่าวสารในทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นทางอิเล็กทรอนิกส์และทางกายภาพ ความมั่นคงปลอดภัยของระบบและเครือข่ายที่ใช้ในการเก็บ เข้าถึง ประมวลผล และกระจายข้อมูล นอกจากนั้น ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ ยังรวมถึงการระวังป้องกันต่อการอาชญากรรม การโจมตี การบ่อนทำลาย การจารกรรม อุบัติเหตุ และความผิดพลาดต่าง ๆ ดังนั้น การทำความเข้าใจเรื่อง ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับทุกคน ตลอดจนการปฏิบัติของทุกองค์กร การรักษาความมั่นคงปลอดภัยนับว่าเป็นหลักประกันในความสำเร็จ และการใช้งานระบบไอซีทีในปัจจุบันและอนาคต ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาด้านสภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐใน 20 กระทรวง ปัญหาภัยคุกคาม และ สาเหตุหลักของการเกิดภัยคุกคามไซเบอร์ และ พัฒนาศักยภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับองค์กร ซึ่งประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัยคือสามารถนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางกำหนดยุทธศาสตร์และนโยบายเชิงรุกด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรในอนาคต และยังได้องค์ความรู้ใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อการเตรียมความพร้อมและการสร้างความตระหนักรู้ด้านไซเบอร์ให้กับบุคลากรในองค์กรอีกด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของไซเบอร์ (Cyber)

ไซเบอร์ เป็นคำที่ใช้นำหน้าคำอื่นสื่อความหมายว่ามีลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์หรืออิเล็กทรอนิกส์ เช่น ไซเบอร์เนติกส์ และ ไซเบอร์สเปซ ไซเบอร์มีขอบเขตที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์และเครือข่ายสังคมทั่วโลก อาทิ ระบบอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

2.2 การรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ (Cybersecurity)

การรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ นั้น สหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) ได้ให้คำจำกัดความไว้ว่า หมายถึง สิ่งใดก็ตาม ที่สามารถนำมาใช้เพื่อปกป้องและรักษาสภาพแวดล้อมของไซเบอร์ รวมทั้งสินทรัพย์ขององค์กรและของผู้ใช้งานไซเบอร์ ให้มีความมั่นคงปลอดภัย ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือ นโยบาย วิธีการบริหารความเสี่ยง แนวปฏิบัติ แบบอย่างที่ดีของวิธปฏิบัติ การฝึกอบรม การตรวจรับรอง และเทคโนโลยี ฯลฯ การรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เป็นวิธีการในการปกป้องและ ป้องกันข้อมูลบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ การกำหนดนโยบายการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและหาแนวทางในการตอบสนองต่อการโจมตี โดยที่เพื่อให้คงคุณสมบัติที่สำคัญของข้อมูลไว้ 3 ด้าน คือ ความลับ (Confidentiality) ความถูกต้องครบถ้วน (Integrity) และ สภาพพร้อมใช้งาน (Availability) รวมทั้งคุณสมบัติอื่น

ได้แก่ ความถูกต้องแท้จริง (Authenticity) ความรับผิดชอบ (Accountability) การห้ามปฏิเสธความรับผิดชอบ (Non-repudiation) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) การรักษาความมั่นคงปลอดภัยเป็นหน้าที่ของทุกคนในองค์กรที่ต้องร่วมกันรับผิดชอบ เนื่องจากข้อมูลคือทรัพยากรที่มีความสำคัญในการช่วยให้องค์กรดำเนิน งาน ได้จนประสบความสำเร็จตามเป้าหมาย

2.3 รูปแบบของภัยคุกคามทางไซเบอร์

ภัยคุกคามคือสาเหตุที่ทำให้ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กร บุคลากรทุกคนต้องมีความเข้าใจ และตระหนักถึงความเสี่ยงที่ตามมา ดังนั้น องค์กรจึงต้องหาวิธีการในการป้องกันเหตุการณ์ต่าง ๆ บุคลากรจะต้องรู้ถึงวิธีการบุกรุกโจมตี วิธีการป้องกัน รูปแบบของการโจมตี และ เทคโนโลยีเป็นอย่างมาก รูปแบบภัยคุกคามถือว่ามีความสำคัญที่หน่วยงานต้องหาแนวทางในการป้องกัน ซึ่งมีรูปแบบของภัยคุกคามบ่อยครั้งที่จะเกิดขึ้น อาทิ การปลอมตัว (Spoofing) การเข้าไปยุ่ง (Tampering) การไม่ยอมรับ (Repudiation) การเปิดเผยข้อมูล (Information Disclosure) การปฏิเสธการให้บริการ (Denial of Service) และการยกเลิสิทธิพิเศษ (Elevation of Privilege)

2.4 หลักการพื้นฐานในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์

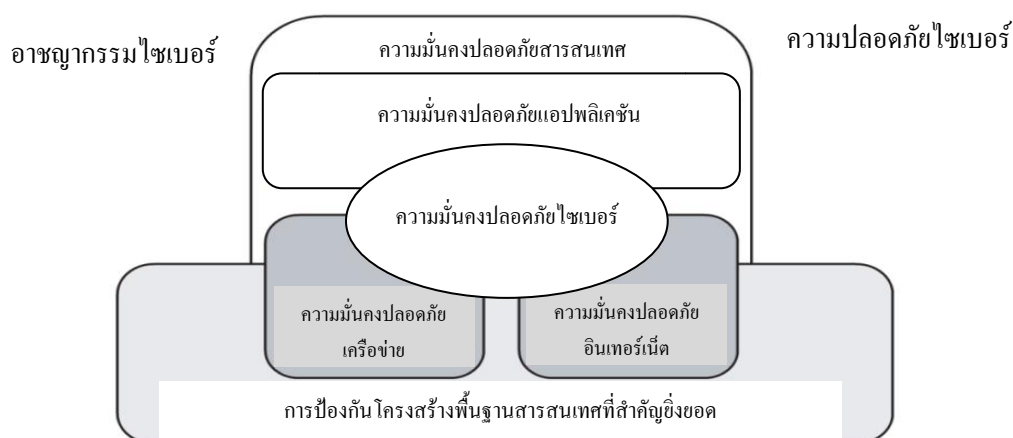
ในการควบคุมและป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ (E.Whitman and J.Mattord, 2005) ซึ่งครอบคลุมการรักษาความลับ การรักษาความครบถ้วน และการรักษาสภาพพร้อมใช้งานของระบบนั้น ควรดำเนินการตามมาตรการ ดังนี้

1. การป้องกันทางกายภาพ หมายถึงมาตรการที่ใช้ป้องกันข้อมูลและทรัพย์สินจากภัยคุกคามทางกายภาพทั้งโดยเจตนาและไม่เจตนา ด้วยการจำกัดให้เฉพาะผู้ที่มีหน้าที่ในการใช้งานเท่านั้น
2. ระบบไฟร์วอลล์ หมายถึงระบบป้องกันอันตรายที่มาจากอินเทอร์เน็ตหรือเครือข่ายภายนอก มีหน้าที่ควบคุมการเข้าถึงระหว่างเครือข่ายภายนอกที่ไม่ปลอดภัยกับเครือข่ายภายในขององค์กร
3. ระบบการตรวจหาการบุกรุก หมายถึงระบบที่ใช้ตรวจหาการใช้งานโครงข่ายขององค์กรในทางที่ผิดไปจากกฎ ข้อบังคับ กลไกระบบตรวจหาการบุกรุกเป็นการวิเคราะห์กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนระบบโครงข่ายด้วยการตรวจสอบกับข้อกำหนดการใช้งานและการตรวจสอบจากสถิติการใช้งาน
4. วิทยาการเข้ารหัสข้อมูล หมายถึงกรรมวิธีที่ใช้สำหรับแปลงข้อความทั่วไปให้เป็นข้อความที่เข้ารหัสเพื่อส่งไปยังผู้รับ เมื่อผู้รับได้รับก็จะถอดรหัสข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลเดิม
5. การใช้ซอฟต์แวร์ป้องกันไวรัส โดยการติดตั้งโปรแกรมกำจัดไวรัสและตรวจสอบเป็นประจำ ปรับปรุงหรืออัปเดตโปรแกรมกำจัดไวรัส ตรวจสอบอุปกรณ์บันทึกข้อมูลจากการใช้งานร่วมกับผู้อื่น สังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน หลีกเลี่ยงการคัดลอกโปรแกรมจากภายนอก

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศกับความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

การจัดการความมั่นคงปลอดภัยด้านเทคโนโลยีสารสนเทศนั้นไม่เพียงพอหากแต่ต้องบูรณาการความมั่นคงปลอดภัยเข้าไปในโปรแกรมประยุกต์ ความมั่นคงปลอดภัยเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ความมั่นคงปลอดภัยอินเทอร์เน็ต ความมั่นคงปลอดภัยของสารสนเทศ พร้อมทั้งรวมแนวทางการป้องกันโครงสร้างพื้นฐานวิกฤตเข้าด้วยเป็นภาพรวมที่เรียกว่าการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ในรูปที่ 1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความ

มั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์และความมั่นคงปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับระบบสารสนเทศตามข้อกำหนดเชิงแนะนำของมาตรฐานสากลด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ หรือ ISO/IEC 27032:2012



รูปที่ 1 ความมั่นคงปลอดภัยสารสนเทศและความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ (ที่มา : ISO27032)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S. Cheang (2009) ได้วิจัยเรื่อง กรอบแนวคิดสำหรับการประเมินความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ สำหรับสถาบันอุดมศึกษาในการพัฒนาประเทศ: กรณีศึกษาประเทศกัมพูชา ผลการวิจัยได้ค้นพบดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของหน่วยงานภาครัฐในประเทศกัมพูชาไว้ ประกอบด้วย 1) ด้านทรัพยากรมนุษย์ 2) ด้านโครงสร้างพื้นฐาน และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อม

T.obi (2015) จากมหาวิทยาลัยวาเซดะ (Waseda University) ประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นองค์กรทางการศึกษาที่มีชื่อเสียงในการจัดอันดับรัฐบาลอิเล็กทรอนิกส์และในปี 2556 ได้กำหนดดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ไว้ประกอบด้วย 1) ด้านกฎหมายไซเบอร์ 2) ด้านองค์การการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางอินเทอร์เน็ต และ 3) ด้านอาชญากรรมไซเบอร์

อย่างไรก็ดี ทาง ITU ยังได้ร่วมมือกับบริษัท ABI Research จัดทำดัชนีความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ระดับโลก (Global Cybersecurity Index : GCI, 2013) ซึ่งได้กำหนดดัชนีความมั่นคงปลอดภัยไว้ ดังต่อไปนี้ 1) มาตรการทางกฎหมาย 2) มาตรการทางด้านเทคนิค 3) มาตรการทางองค์กร 4) มาตรการพัฒนาบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ และ 5) มาตรการความร่วมมือกับหน่วยงานอื่น ๆ

ดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ของแต่ละองค์กรและแต่ละงานวิจัยได้จัดทำออกมา คือ ส่วนมหาวิทยาลัยวาเซดะ กำหนดไว้ 3 ด้าน ในงานวิจัยของ เอส เชียง (S. Cheang) กำหนดไว้ 3 ด้าน และ ไอทียู และเอบีไอรีเสิร์ช (ITU & ABI Research) ได้กำหนดความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไว้ 5 ด้าน ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบดัชนีความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

วาระ	เอส เชียง	ไอทียูและเอปไอ รีเสิร์ช
1.ด้านกฎหมายไซเบอร์	1.ด้านทรัพยากรมนุษย์	1.มาตรการทางกฎหมาย
2.ด้านองค์การการรักษาความ มั่นคงปลอดภัยทางอินเทอร์เน็ต	2.ด้านโครงสร้างพื้นฐาน	2.มาตรการทางด้านเทคนิค
3.ด้านอาชญากรรมไซเบอร์	3.ด้านสิ่งแวดล้อม	3.มาตรการทางองค์กร
-	-	4.การพัฒนาบุคลากรด้านความมั่นคง ปลอดภัยทางไซเบอร์
-	-	5 ความร่วมมือกับหน่วยงานอื่น ๆ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เน้นวิจัยทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยการวิจัยเชิงคุณภาพนั้นจะทำการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview) กับผู้ทรงคุณวุฒิ การสนทนากลุ่ม (Focus Group) กับผู้เชี่ยวชาญด้านไอซีที และ ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ การศึกษาเอกสาร นโยบาย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ยังได้ใช้การวิจัยเชิงปริมาณ ซึ่งได้ทำการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามกับกลุ่มผู้บริหารและปฏิบัติงานด้านไอซีทีในองค์กรภาครัฐ โดยมีเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย แบบบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทบทวนเอกสารในประเด็นต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับไอซีทีและความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ แบบสัมภาษณ์เชิงลึกที่มีโครงสร้าง แบบคำถามประเด็นสำหรับการสนทนากลุ่ม และแบบสอบถามสำหรับสำรวจกลุ่มผู้บริหารและปฏิบัติงานด้านไอซีที และด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ในองค์กร ในการสร้างเครื่องมือการวิจัยนั้นจะเริ่มต้นด้วยทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพจากเอกสาร บทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ทั้งภายในและต่างประเทศ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และข้อมูลการสัมภาษณ์ อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์ข้อมูล โดยเฉพาะการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ โดยนำข้อมูลที่ได้จากแบบบันทึกข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) แบบการวิเคราะห์เชิงบริบท (Contextual Analysis) ทำการแบ่งรูปแบบของหัวข้อเรื่อง (Categories) ที่ทำการวิเคราะห์ การสัมภาษณ์เชิงลึก และใช้เทคนิคการสนทนากลุ่ม เพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กร นอกนั้นข้อมูลที่ได้จะใช้ทำการวิเคราะห์ SWOT ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กร ทั้งนี้เพื่อกำหนดดัชนีสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ต่อไป

4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ พบว่าสถานภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐในประเทศไทย จากการวิเคราะห์แบบสอบถามจาก ผู้บริหารและผู้ทำงานด้านไอซีทีในองค์กร พบว่า ภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่ร้ายแรง

และน่าเป็นห่วงในองค์กร 3 อันดับแรก ได้แก่ 1. การโจมตีหรือเข้าควบคุมระบบของโครงสร้างพื้นฐานสำคัญยิ่งยวด (Critical Infrastructure) เพื่อให้ใช้งานไม่ได้ตามปกติ 2. การเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลเพื่อนำไปใช้ทำลายชื่อเสียงหรือสร้างความแตกแยก และ 3. การเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคลหรือข้อมูลของหน่วยงานเพื่อนำไปใช้ฉ้อโกงหรือหลอกลวงหาผลประโยชน์ทางการเงิน ประกอบกับการเข้าถึงหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลเพื่อทำลายภาพลักษณ์หรือความน่าเชื่อถือขององค์กร

จุดอ่อนในการรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐ 3 อันดับแรก ได้แก่

1. ขาดบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์
2. บุคลากรขาดการตระหนักถึงความสำคัญของความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
3. ผู้ใช้เทคโนโลยีขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้เทคโนโลยีอย่างมั่นคงปลอดภัย

สาเหตุหลักของการเกิดภัยคุกคามทางไซเบอร์ขององค์กร 3 อันดับแรก ได้แก่ 1. บุคลากรในองค์กร 2. เกิดจากไวรัสหรือเวิร์ม และ 3. ช่องโหว่ในโปรแกรมประยุกต์ที่ติดมากับระบบ และช่องทาง (Channel) ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดภัยคุกคามทางไซเบอร์ขององค์กร 3 อันดับแรก ได้แก่ 1. ทางเครือข่าย เช่น การลักลอบใช้เครือข่ายไร้สายของหน่วยงาน 2. ทางแอปพลิเคชัน เช่น การปลอมแปลงเว็บไซต์ที่ไม่ได้ใช้เทคโนโลยี SSL และ 3. ทางกายภาพ เช่น การทำการโจมตีแบบวิศวกรรมสังคมกับพนักงานที่เคาน์เตอร์ของหน่วยงาน เป็นต้น

การจัดทำแผนนโยบายและแนวปฏิบัติตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง องค์กรมีการจัดทำแผนนโยบายและแนวปฏิบัติตามกฎหมายไว้ 3 อันดับแรก ได้แก่ 1. การควบคุมการเข้าถึงการใช้งานสารสนเทศ 2. การจัดให้มีระบบสารสนเทศและระบบสำรองที่อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและจัดทำแผนเตรียมพร้อมกรณีฉุกเฉิน และ 3. การตรวจสอบและประเมินความเสี่ยงด้านสารสนเทศอย่างสม่ำเสมอ

การรายงานผลการปฏิบัติตามแผนปฏิบัติการ โดยเฉพาะด้านบุคลากรและงบประมาณ พบว่าองค์กรภาครัฐส่วนใหญ่ไม่มีการรายงานผลการปฏิบัติตามแผนปฏิบัติ เพื่อรองรับการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

ปัญหาหลักในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ 3 อันดับแรก คือ 1. ผู้ใช้งานไอทีในองค์กรยังขาดความตระหนักในด้านมั่นคงปลอดภัย 2. องค์กรขาดแคลนบุคลากรผู้เชี่ยวชาญด้าน ความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และ 3. องค์กรขาดระบบการเฝ้าระวังและเตือนภัยด้าน ไซเบอร์ที่มีประสิทธิภาพ

การดำเนินการกรณีที่เกิดเหตุการณ์ (Incident) ทางไซเบอร์ สิ่งที่หน่วยงานในองค์กร ดำเนินการ หรือจัดการปัญหาโดยส่วนใหญ่คือ วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและเก็บข้อมูลเป็นพยานหลักฐานเพื่อใช้ในการดำเนินคดี รองลงมาคือไม่ได้ดำเนินการใดๆ ได้ทันทีทั้งนี้ เพราะขาดแนวทางในการแก้ไขปัญหาเบื้องต้น และดำเนินการร้องเรียนผ่านหน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

ความคาดหวังด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กร ได้แก่ 1. เป็นอีกหนึ่งภารกิจในการปกป้องอธิปไตยของประเทศที่กองทัพต้องให้ความเชื่อมั่นแก่ประชาชน และควรมีช่องทางประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนรับทราบอย่างต่อเนื่อง 2. สำคัญที่สุดคือผู้บริหารควรตระหนัก ให้มีนโยบายที่ชัดเจนในการป้องกัน มีแผนเผชิญเหตุ รวมทั้ง การแก้ไขปัญหาเชิงป้องกัน และส่งเสริมความรู้ไซเบอร์เชิงป้องกันให้แก่บุคลากรในองค์กร 3. พัฒนาศักยภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ให้มีความเชี่ยวชาญอย่างมืออาชีพ และ 4. ควรจัดสรรงบประมาณให้องค์กรอย่างเพียงพอต่อการพัฒนาคน อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้มีความสามารถในการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ได้ 5. สร้างความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอก อาทิ ภาคเอกชนที่มีความชำนาญด้าน ไซเบอร์

6. ฝึกอบรมในการสร้างความตระหนักให้แก่บุคลากรในด้านภัยคุกคามทางไซเบอร์ 7. ควรมีหน่วยงานที่ชัดเจนในการรับผิดชอบเฉพาะด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ 8. กำหนดนโยบายและแผนปฏิบัติงานด้านไซเบอร์ให้ชัดเจน พร้อมทั้ง ทบทวน กฎ ระเบียบ ข้อบังคับ และ กำกับกับการปฏิบัติงานให้ทันสมัย 9. มีหน่วยงานในการดูแลและป้องกันปัญหา เรื่องภัยคุกคามทางไซเบอร์ในระดับส่วนกลาง และหน่วยปฏิบัติที่สามารถให้ความรู้และให้คำปรึกษาแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องได้ 10. มีระดับชั้นความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ และแผนเผชิญเหตุรองรับเมื่อเกิดเหตุด้านไซเบอร์

ความคิดเห็นโดยรวมเกี่ยวกับการป้องกันภัยด้านไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐ

1. กระตุ้นเตือนและประเมินผลเป็นระยะ เพื่อปฏิบัติตามแผนป้องกันที่วางไว้ เน้นเพิ่มความรู้ทางกฎหมาย ผลกระทบ รวมทั้งการจัดเตรียมงบประมาณป้องกันภัยคุกคามที่เพียงพอ
2. รู้ทันเทคโนโลยีด้านไซเบอร์ จัดการอย่างเป็นระบบ และมีความเป็นมืออาชีพ
3. ควรทำงานร่วมกับกระทรวงไอซีที เพื่อทำหน้าที่วางแผนปฏิบัติการป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ของประเทศและสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับหน่วยงานทั้งของภาครัฐและเอกชน
4. ควรมีเครื่องมือ อุปกรณ์ป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ให้เพียงพอในทุกหน่วยงานย่อย
5. ควรมีการปลูกจิตสำนึกด้านไซเบอร์ให้ ร.ป.ก. อย่างต่อเนื่อง ให้ความรู้ เข้าใจ และวิธีการป้องกันอย่างสม่ำเสมอ ให้รางวัลแก่ผู้ที่มีการปฏิบัติด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
6. ต้องเน้นเรื่องการพัฒนาบุคลากรด้านไซเบอร์ ในองค์กร และผู้บริหารต้องให้ความสำคัญ
7. จัดทำแผนปฏิบัติการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ ให้ทุกองค์กรทราบและปฏิบัติ
8. มีบทลงโทษกับผู้ที่เกี่ยวข้องให้ชัดเจนเมื่อกระทำความผิดด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์
9. ดำเนินการให้ บุคลากรภาครัฐ ตระหนักถึงภัยคุกคาม มีวินัยในการทำงานบนโลกไซเบอร์
10. องค์กร จำเป็นต้องจริงจังดำเนินการ โดยต้องให้มีแผนแม่บทด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

การวิเคราะห์ SWOT ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐ จากผลการวิจัย ที่ทำการสำรวจสถานภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐ ทำให้สามารถวิเคราะห์ SWOT ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กรภาครัฐได้ดังนี้

จุดแข็ง ได้แก่ 1. องค์กรมี กฎ ระเบียบที่รองรับมาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัย รวมทั้งแนวทางการปฏิบัติต่อภัยคุกคามความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่ชัดเจน 2. องค์กรให้ความสำคัญกับการดูแลรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ โดยกำหนดเป็นนโยบายด้านไอซีที 3. องค์กร มีการพัฒนาด้านไอซีทีอย่างต่อเนื่อง และ 4. องค์กร มีการฝึกอบรมและมีแผนการส่งเสริมบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์

จุดอ่อน ได้แก่ 1. ที่ผ่านมา องค์กร ยังขาดงานวิจัย และทิศทางในการบูรณาการมาตรการด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในแต่ละส่วนของหน่วยงานย่อยที่ขึ้นตรง 2. มีข้อจำกัดในการจัดสรรงบประมาณด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่รองรับความต้องการขององค์กร 3. บุคลากรในองค์กรขาดความรู้เกี่ยวกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ 4. บุคลากรในองค์กรยังขาดความรู้ความเข้าใจในการใช้เทคโนโลยีอย่างมั่นคงปลอดภัย และ 5. บุคลากรในองค์กรขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ทั้งปริมาณและ คุณภาพ

โอกาส ได้แก่ 1. นโยบายและแผนแม่บทไอซีทีขององค์กรทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้ นโยบายความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์มีความสำคัญในระดับมาก 2. กรอบ AEC 2015 กำหนดให้ทุกประเทศสมาชิกให้

ความสำคัญกับภัยคุกคามทางไซเบอร์ รวมทั้งการเตรียมพร้อม ชักซ้อมรับมือกับภัยคุกคามไซเบอร์ร่วมกัน และ 3. การร่วมมือกันทางด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในอาเซียน การถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีระหว่างกัน

ภัยคุกคาม ได้แก่ 1. การก่อการร้าย และการก่อให้เกิดสงครามทางไซเบอร์ มีแนวโน้มจะรุนแรงเพิ่มมากขึ้นตามพัฒนาการทางเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อน และ 2. การใช้เทคโนโลยีที่เข้าถึงได้ง่ายในขณะที่ บุคลากรในองค์กรส่วนใหญ่ยังขาดความตระหนักรู้ในเรื่องภัยคุกคามทางไซเบอร์ ดังนั้น จึงมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์

อย่างไรก็ดี งานวิจัยนี้ ผู้วิจัย ยังได้ค้นพบ ดัชนีสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ สำหรับองค์กร โดยอิง ITU & ABI Research และ ISO27032 ประกอบกับการทำสนทนากลุ่ม (Focus Group) กับผู้เชี่ยวชาญแล้ว ได้องค์ประกอบดัชนีดังกล่าว 7 ด้านด้วยกัน คือ 1. การมียุทธศาสตร์ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ 2. การมีกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ 3. การมีศูนย์ประสานงานการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์หรือทีมการตอบสนองต่อการแจ้งเหตุภัยคุกคาม 4. การป้องกันอาชญากรรมไซเบอร์อย่างจริงจัง 5. การพัฒนาบุคลากรด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ 6. การมีงบประมาณสนับสนุนการวิจัยพื้นฐาน และวิจัยเชิงประยุกต์ด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ที่เหมาะสม และ 7. ความร่วมมือกับหน่วยงานอื่น ๆ

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาถึงสถานภาพด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ขององค์กร ปัญหาภัยคุกคาม และ สาเหตุหลักของการเกิดภัยคุกคามไซเบอร์ และพัฒนาดัชนีสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับองค์กร ผลการวิจัยพบว่า สถานภาพโดยรวม ด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ขององค์กร ในประเด็น บุคลากร กระบวนการ และ เทคโนโลยี นั้น พบว่า องค์กร ยังขาดแคลนทรัพยากรด้านนี้อยู่ในระดับมาก ปัญหาภัยคุกคามหลักคือการเข้าควบคุมระบบของโครงสร้างพื้นฐานสำคัญยิ่งยวดเพื่อให้ใช้งานไม่ได้ตามปกติ สาเหตุหลักของการเกิดภัยคุกคามทางไซเบอร์มาจากบุคลากรในองค์กรขาดความรู้ความเข้าใจ รองลงมาเกิดจากไวรัสหรือเวิร์ม นอกจากนั้น ยังได้ดัชนีสภาพความพร้อมด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์สำหรับองค์กรภาครัฐ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญจำนวน 7 ด้านด้วยกัน

6. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2556. กรอบนโยบายด้านความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์

พ.ศ.2556-2560. กรุงเทพฯ.

กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. 2554. กรอบนโยบายเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

ของประเทศไทย พ.ศ.2554-2563. กรุงเทพฯ..

จตุชัย แวงจันทร์, นาวาอากาศโท. 2553. **Master in Security 2nd Edition**. นนทบุรี: โอเคซี พรีเมียร์.

สำนักงานพัฒนาธุรกรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (องค์การมหาชน). 2557. รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมผู้ใช้

อินเทอร์เน็ตในประเทศไทย ปี 2557 ครั้งที่ 1.

- D. Shoemaker and K. Sigler. 2014. **Cybersecurity: Engineering a Secure Information Technology Organization**. Cengage Learning Publishing Inc.
- E. A. Fischer. 2010. **Creating a National Framework for Cybersecurity: An Analysis of Issues and Options**. BiblioGov Publishing Inc.
- G. J. Touhill and C. J. Touhill. 2014. **Cybersecurity for Executives: A Practical Guide**. Wiley-AICHe Publishing Inc.
- I. Atoum, A. Ootom, and A. Abu Ali. 2014. **A holistic Cyber Security Implementation Framework**. Journal of Information Management & Computer Security, Vol. 22 Iss: 3.
- ISO/IEC 27001:2013. 2013. - **Information Technology - Security Techniques – Information Security Management Systems — Requirements**. Switzerland. 2013.
- ITU National Cybersecurity Strategy Guide**. [Online]. 2011. Available from:
<http://www.itu.int/ITU-D/cyb/cybersecurity/docs/ITUNationalCybersecurityStrategyGuide.pdf>
 [2014, May 4].
- ISO/IEC 27032:2012 : **Information Technology - Security Techniques — Guideline for Cybersecurity**. Switzerland. 2012.
- International Telecommunication Union and ABI Research. **The Global Cybersecurity Index**. [Online]. 2013. Available from: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Cybersecurity/Pages/GCI.aspx>. [2013, January 23].
- K. J. Andreasson. 2011. **Cybersecurity: Public Sector Threats and Responses**. CRC Press.
- M. Hasib. 2014. **Cybersecurity Leadership: Powering the Modern Organization**. CreateSpace Independent Publishing Platform Inc.
- N. MacDonnell Ulsch. 2014. **Cyber Threat How to Manage the Growing Risk of Cyber Attacks**. John Willey & Sons, Inc.
- Obi, T., and Iwasaki, N. 2015, **The Waseda University E-Government Rankings**, IOS Press.
- P.W. Singer and A. Friedman. 2014. **Cybersecurity and Cyberwar: What Everyone Needs to Know**. Oxford University Press.
- S. Christine . 2007. “**Towards an International Roadmap for Cybersecurity**”. Online Information Review. Vol. 31 Iss: 5. pp.566 – 582.
- S. Cheang. 2007. “**Conceptual Model for Cybersecurity Readiness Assessment for Public Institutions in Developing Country: Cambodia**”. 4th International Conference on Computer Sciences and Convergence Information Technology, 2009.
- T. J. MowbrayWiley . 2013. **Cybersecurity: Managing Systems, Conducting Testing, and Investigating Intrusions**. John Wiley & Sons, Inc.

**การวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร
โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอส**

**THE ANALYSIS AND DESIGN OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM
FOR MILITARY PLANNING USING CLOUD PLATFORM IN PAAS**

ฐริศร ตูยานนท์

นักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : joey40000@hotmail.com

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทพฤทธิ์ บัณฑิตวัฒนวงศ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail : thepparit.ba@spu.ac.th

บทคัดย่อ

กองทัพบก มีหน้าที่เตรียมกำลังทางบก และป้องกันราชอาณาจักรไทย โดยในปัจจุบันการวางแผนการวางกำลังในสนามรบของกองทัพบก ยังใช้วิธีการเขียนบนกระดาษแก้ว ซึ่งยากและใช้เวลานาน บทความนี้จึงเสนอการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอส เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการวาดภาพเครื่องหมายทางทหาร รวมไปถึงเครื่องหมายแสดงแนวในสนามรบ สามารถสืบค้นสถานที่สำคัญ ทั้งจากชื่อสถานที่และจากรายละเอียดของคุณลักษณะ ช่วยคำนวณเส้นทาง ซึ่งจะส่งผลให้การวางแผนทางทหารเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : การวางแผนทางทหาร บริการแพลตฟอร์มคลาวด์

ABSTRACT

Royal Thai Army has a duty to plan arm forces in battlefield and protect the kingdom of Thailand. Presently, planning in the battlefield has still used, for example, cellophanes that are difficult and time consuming. This paper presents the analysis and design of GIS for military planning by using a Cloud Platform as a Service (PaaS) in order to facilitate the drawing of military signage including the boundary signage in battlefield, and to allow the search of important places by using place names and characteristic attributes, as well as to enable routing. This results in the accuracy, simplicity and fastness of military planning.

KEY WORDS : Military planning, Platform as a Service

1. บทนำ

การวาดภาพสนามรบในทุกวันนี้ ใช้วิธีนำแผ่นบริวารไปทาบทับกับแผนที่ทางทหาร ในลักษณะซ้อนกัน โดยอุปกรณ์ที่นิยมใช้เป็นแผ่นบริวารคือ แผ่นใส หรือแผ่นอะซิเตท แล้วใช้การวาดภาพเครื่องหมายทางทหารต่างๆ ด้วยปากกาเมจิกลงบนแผ่นบริวาร ซึ่งยากในการวาดและยากต่อการแก้ไขเมื่อเขียนผิด อีกทั้งการวาดภาพสนามรบด้วยวิธีนี้ก็ไม่สามารถทราบรายละเอียดของคุณลักษณะของสถานที่ต่างๆ ได้ รวมไปถึงไม่สามารถทราบเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางไปยังจุดที่ต้องการอีกด้วย ประกอบกับการสำรวจในโครงการสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศของกรมแผนที่ทหาร มีการสำรวจรายละเอียดของคุณลักษณะของสถานที่สำคัญอย่างละเอียดมาก ซึ่งรายละเอียดของคุณลักษณะของสถานที่ต่างๆ เหล่านี้น่าจะมีประโยชน์ต่อการพิจารณาในการวางแผนการรบของฝ่ายเสนานิการ แต่กรมแผนที่ทหารยังไม่มีการจัดทำส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ ผู้ศึกษาได้เล็งเห็นปัญหานี้ของฝ่ายเสนานิการและของกรมแผนที่ทหาร ผู้ศึกษาจึงได้วิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอเอส ขึ้นมา เพื่อขจัดปัญหาดังกล่าวให้หมดไป

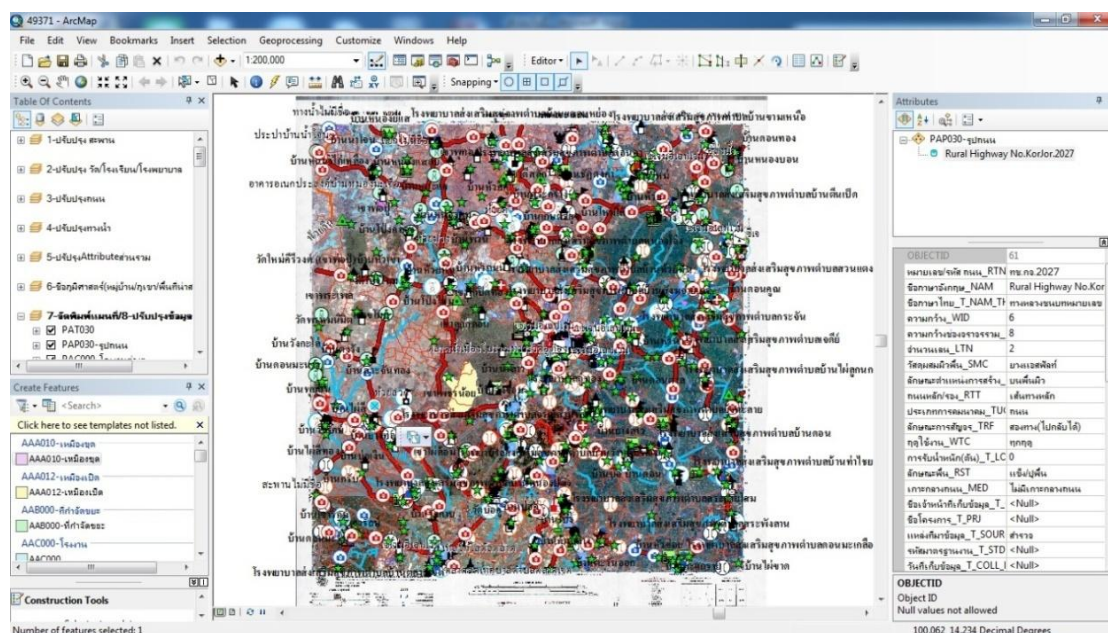
2. แนวคิด ทฤษฎี และระบบที่เกี่ยวข้อง

เอสดีแอลซี (SDLC) หรือ System Development Life Cycle คือ วงจรการพัฒนาที่แสดงถึงกิจกรรมต่างๆ ที่เป็นลำดับขั้นตอนในการพัฒนาระบบ ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้ 1) การกำหนดปัญหา 2) การวิเคราะห์ระบบ 3) การออกแบบระบบ 4) การพัฒนาระบบงาน 5) การทดสอบระบบ 6) การติดตั้งระบบ 7) การบำรุงรักษา (สุพจน์ หาบอุปการ และคณะ, 2556)

ยูเอ็มแอล ((สุพจน์ หาบอุปการ และคณะ, 2556)UML) หรือ Unified Modeling Language เป็นภาษาเพื่อใช้อธิบายโมเดลต่างๆ หรือเป็นภาษาสัญลักษณ์รูปภาพมาตรฐานสำหรับใช้ในการสร้างโมเดลเชิงวัตถุ โดยยูเอ็มแอลเป็นภาษามาตรฐานสำหรับสร้างแบบพิมพ์เขียวให้แก่ระบบงาน เราสามารถใช้ยูเอ็มแอลในการสร้างมุมมองกำหนดรายละเอียด สร้างระบบงาน และจัดทำเอกสารอ้างอิงให้แก่ระบบงานได้ เนื่องจากยูเอ็มแอลเป็นภาษาที่มีการใช้สัญลักษณ์รูปภาพ จึงอาจมีผู้เข้าใจสับสนว่ายูเอ็มแอลเป็นการสร้างไคอะแกรมหรือเป็นเพียงการใช้สัญลักษณ์เพื่ออธิบายระบบงานเท่านั้น แต่แท้จริงแล้วยูเอ็มแอลมีลักษณะของเมต้าโมเดล (Meta Model) คือเป็นโมเดลที่เอาไว้อธิบายโมเดลอื่นๆ อีกที การใช้งานภาษายูเอ็มแอลนอกจากจะต้องเข้าใจในแนวความคิดเชิงวัตถุแล้ว ยังจำเป็นต้องมีพื้นฐานความเข้าใจเกี่ยวกับวิซวลโมเดลลิง (Visual Modeling) ด้วยเช่นกัน (ณพัชรวิดี แสงบุญนำ, 2547)

การคำนวณแบบคลาวด์ (Cloud Computing) คือแพลตฟอร์มของระบบคอมพิวเตอร์ ที่นำหลักการบริหารจัดการทรัพยากรของระบบไอที ทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ มาแบ่งปันในรูปแบบการให้บริการในระดับการประมวลผลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยผู้ใช้งานจำเป็นต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง หรือติดตั้งซอฟต์แวร์ระบบ ตลอดจนซอฟต์แวร์โปรแกรมประยุกต์จำนวนมากๆ เพื่อการทำงานที่ซับซ้อน แต่สามารถใช้บริการประมวลผล และ โปรแกรมประยุกต์ต่างๆ จากผู้ให้บริการระบบการคำนวณแบบคลาวด์ และชำระค่าบริการตามอัตราการใช้งานจริง (สมนึก จิระศิริโสภณ, 2558)

อาร์คจีไอเอสเซอร์เวอร์ (ArcGIS Server) เป็นซอฟต์แวร์ในด้านการบริการในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยผู้ศึกษาได้ใช้บริการทีโอเอส (PaaS) ของบริษัท อีเอสอาร์ไอ (Esri) ผ่านอาร์คจีไอเอสเว็บแมปปิง เอพีไอ (ArcGIS Web mapping APIs) เพื่อจัดทำและจัดเก็บแผนที่ในรูปแบบหน่วยความจำแคช (Cache) แล้วบรรจุขึ้นไปยังผู้ให้บริการคลาวด์ เพื่อให้บริการข้อมูลแผนที่บนคลาวด์ โดยภาพประกอบ 1 แสดงส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ของอาร์คจีไอเอสเซอร์เวอร์ ซึ่งมีหลากหลายเครื่องมือให้เลือกใช้ (David Chappell, 2011)



ภาพประกอบ 1 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ของอาร์คจีไอเอสเซอร์เวอร์

เอ็กซ์แอมป์ (XAMPP) คือ โปรแกรมจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนตัวเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการจำลองเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้ทดสอบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) โดยรวบรวมโปรแกรมที่มีชื่อเสียง เช่น Apache MySQL phpMyAdmin และอื่นๆ มารวมไว้ด้วยกัน เพื่อสะดวกต่อการติดตั้ง อีกทั้งยังมีตัวช่วยในการปรับแต่งแบบอัตโนมัติอีกด้วย โดยผู้ศึกษาได้ใช้เอ็กซ์แอมป์ในการจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ตัวเองเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ในการออกแบบระบบ (นรเศรษฐ์ ทองคำ, 2553)

เอฟแอลดีบี (FLDB) หรือ Feature Level Database คือ ชุดของกระบวนการทำงานในการจัดเก็บข้อมูลจีไอเอส ซึ่งประกอบไปด้วย ซอฟต์แวร์มาตรฐานที่มีคุณลักษณะรองรับมาตรฐานสากล เช่น ดับเบิลยูทีอาร์ซี (W3C) และโอจีซี (OGC) และยังรองรับโปรแกรมประยุกต์ ฐานข้อมูลออร์เคิล (Oracle) โดยเอฟแอลดีบีจะอำนวยความสะดวกในเรื่องการนำเข้าข้อมูล การค้นคืนข้อมูล การบูรณาการข้อมูล การบำรุงรักษา การแก้ไขข้อมูลรายละเอียด การแก้ไข การจัดการข้อมูล โดยมีข้อมูลเวกเตอร์ และคุณลักษณะ จัดเก็บในฐานข้อมูลออร์เคิล ทั้งนี้ ผู้ศึกษาได้ใช้ข้อมูลการสำรวจจากโครงการสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศของกรมแผนที่ทหารมาเป็นฐานข้อมูลตัวอย่าง จากนั้นได้ปรับแต่งลักษณะของคุณลักษณะให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบทีโอเอส (คณะทำงานการจัดการความรู้ของ ผท.ทหาร, 2556)

เครื่องหมายทางทหาร คือ เครื่องหมายชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วยการเขียนเป็นรูป ตัวเลข อักษร คำย่อ สี หรือสิ่งที่กล่าวมาแล้วผสมกัน เพื่อใช้แสดงให้รู้จักหน่วยทหาร หรือกิจการ หรือสถานที่ตั้งทางทหารได้ โดยผู้ศึกษาได้มีการสร้างเครื่องหมายทางทหารเพื่อนำไปใช้กับการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอเอส ตัวอย่างตามภาพประกอบ 2 (โรงเรียนเสนาธิการทหารบก, 2546)



ภาพประกอบ 2 ตัวอย่างเครื่องหมายทางทหาร

นอสตรา แมพ (Nostra Map) เป็นข้อมูลแผนที่ดิจิทัล (Digital Map Data) และข้อมูลพิกัดตำแหน่ง (Location Content) ในประเทศไทยที่ได้รับการพัฒนาให้เป็นข้อมูลที่สามารถตอบโจทย์การใช้งานทางด้านแผนที่ขององค์กรและบุคคลทั่วไปได้อย่างดี ภายใต้การดูแลของบริษัท โกลบเทค จำกัด หนึ่งในสมาชิกของกลุ่มบริษัท ซีดีจี (CDG Group) (บริษัท โกลบเทค จำกัด, 2558)

3. วัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหารให้นำมาใช้ประโยชน์ได้จริง ในการวาดภาพสนามรบ และด้านข้อมูลในการวางแผนทางทหาร โดยการนำสัญลักษณ์และฐานข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของโครงการสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ บรรจุขึ้นบนแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอเอส

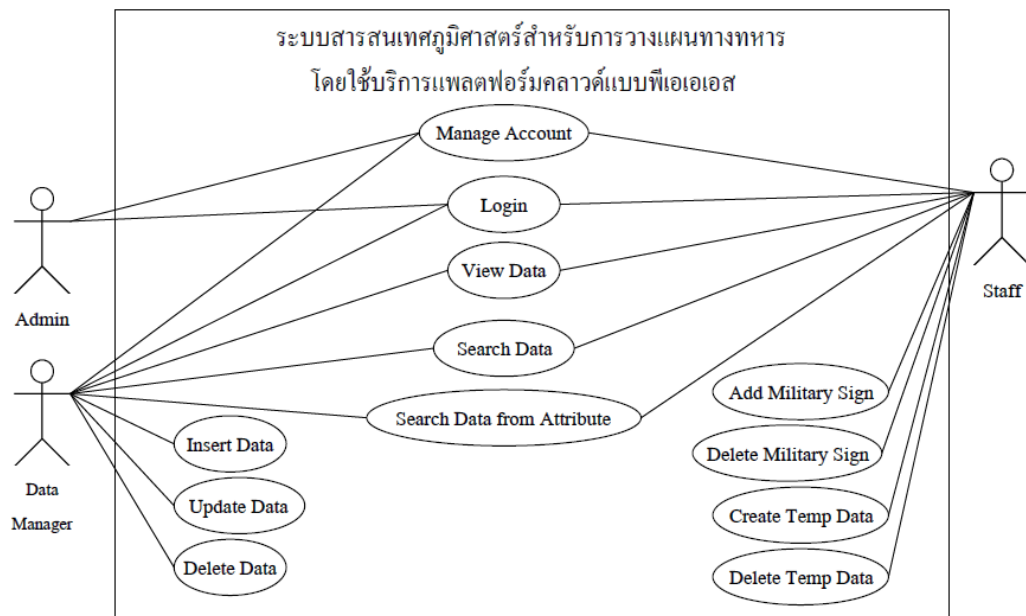
4. วิธีดำเนินการศึกษา

ผู้ศึกษาได้ยึดถือการดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนของเอสดีแอลซี ดังนี้ 1) การกำหนดปัญหา ทำให้ผู้ศึกษา ได้เข้าใจว่าปัญหาของการวาดสภาพรบคืออะไร 2) การวิเคราะห์ระบบ โดยศึกษาความเป็นไปได้และความเชื่อมโยงของข้อมูล 3) การออกแบบระบบ โดยออกแบบระบบและโครงสร้างคุณลักษณะที่เหมาะสมกับระบบ รวมไปถึงการออกแบบเครื่องหมายทางทหารในระบบ 4) การพัฒนาระบบงาน กล่าวคือ ลงมือปฏิบัติตามที่ได้ออกแบบไว้ก่อนหน้า 5) การทดสอบระบบ โดยทดสอบการใช้งานว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของระบบหรือไม่ 6) การติดตั้งระบบ คือ การผสมผสานการทดลองใช้ระบบกับการแก้ไขจุดผิดพลาดของระบบ และ 7) บำรุงรักษา

5. ผลการวิเคราะห์และออกแบบ

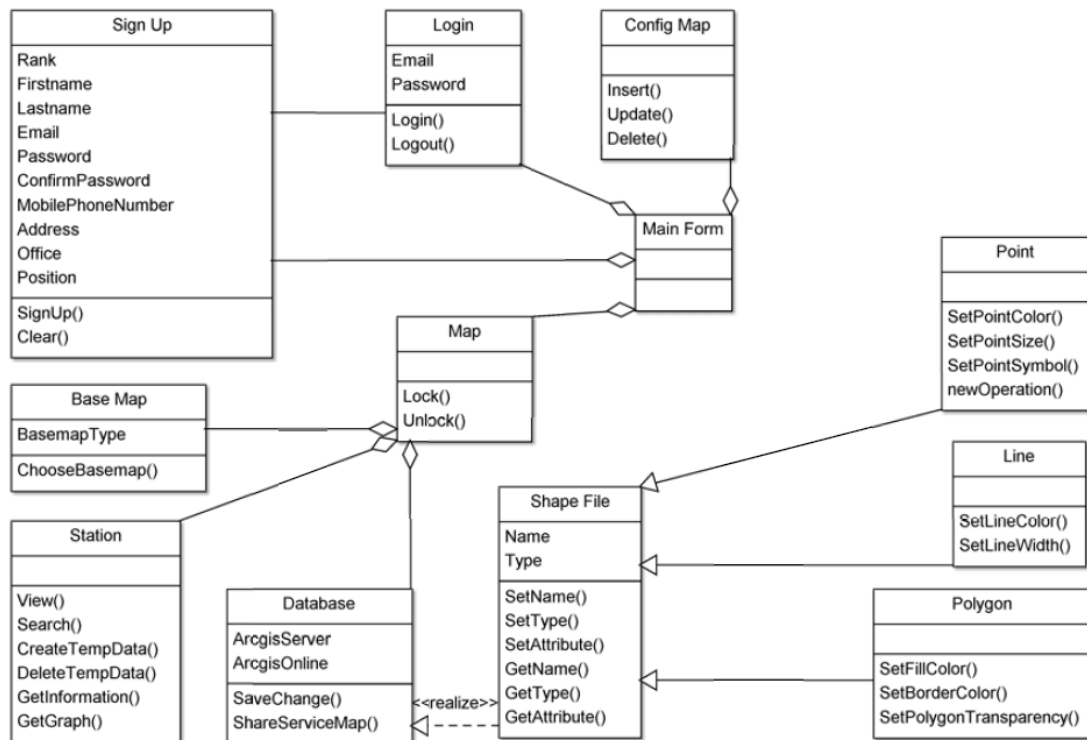
แผนภาพยูสเคส คือ แผนภาพที่แสดงการทำงานของผู้ใช้งานและความสัมพันธ์กับระบบย่อยภายในระบบใหญ่ เพื่อแสดงการทำงานของระบบว่ามีอะไรบ้าง โดยจะดึงความต้องการหรือเรื่องราวต่างๆ ของระบบจากผู้ใช้งาน ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการวิเคราะห์และออกแบบระบบ ตามภาพประกอบ 3 จะแสดงถึง

แผนภาพยูสเคสของการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอส ของผู้ศึกษา



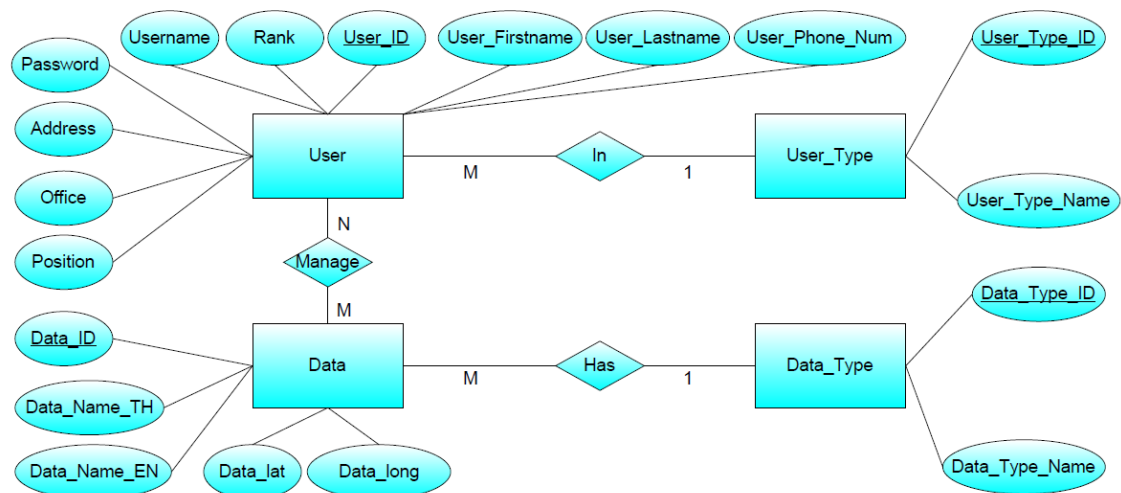
ภาพประกอบ 3 แผนภาพยูสเคสของการวิเคราะห์ออกแบบระบบฯ

แผนภาพคลาส คือ แผนภาพที่ใช้แสดงคลาส และความสัมพันธ์ระหว่างคลาสของระบบที่สนใจ (Problem Domain) โดยแต่ละคลาสจะแสดงองค์ประกอบที่มีในแต่ละหน้าเว็บไซต์ และมีความสัมพันธ์ (Relationship) ในลักษณะต่างๆ ดังภาพประกอบ 4 ซึ่งแสดงถึงแผนภาพคลาสของการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอส



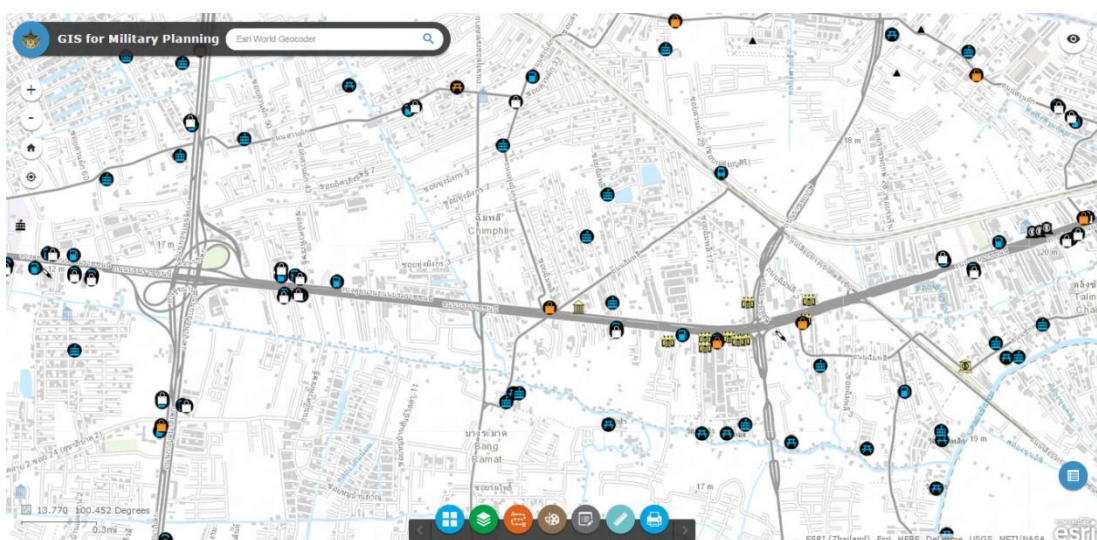
ภาพประกอบ 4 แผนภาพคลาสของการวิเคราะห์ออกแบบระบบฯ

แผนภาพอีอาร์ เป็นแบบจำลองข้อมูลซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของฐานข้อมูล ที่เป็นอิสระจากซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในการพัฒนาฐานข้อมูล รวมทั้งรายละเอียดและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลในระบบ ในลักษณะที่เป็นภาพรวม ทำให้เป็นประโยชน์อย่างมากต่อการรวบรวมและวิเคราะห์รายละเอียด ตลอดจนความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ โดยใช้สัญลักษณ์แทนรูปแบบของข้อมูลเชิงตรรกะ ดังภาพประกอบ 5 ซึ่งแสดงถึงแผนภาพอีอาร์ของการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอส

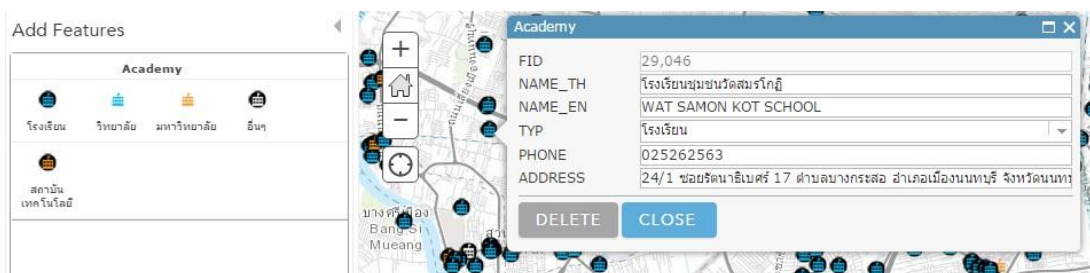


ภาพประกอบ 5 แผนภาพอาร์ของการวิเคราะห์ออกแบบระบบฯ

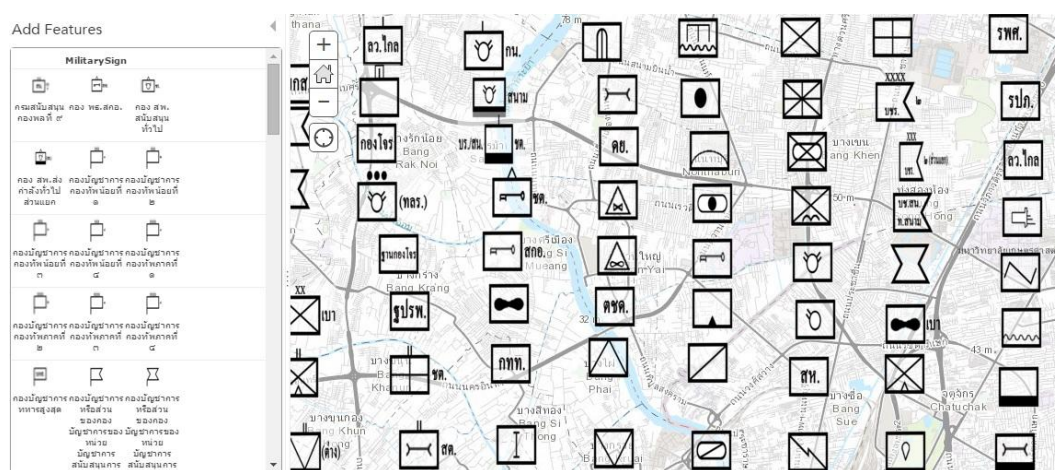
ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ คือส่วนของระบบปฏิบัติการที่ผู้ใช้สามารถจะควบคุมระบบปฏิบัติการ โดยผู้ใช้สามารถจะติดต่อหรือได้ตอบกับระบบปฏิบัติการได้ และสำหรับเครื่องมือของการวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอสไอ ผู้ศึกษาได้ออกแบบให้มีเครื่องมือ เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา ดังนี้ 1) เลือกแผนที่ฐาน 2) แสดงประเภทย่อยของแต่ละชั้นข้อมูล 3) กำหนดเส้นทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง 4) วาดจุดหรือเส้น 5) เพิ่มจุดเครื่องหมายทางทหาร 6) วัดระยะบนแผนที่ และ 7) สั่งพิมพ์แผนที่ ตามภาพประกอบ 6 รวมไปถึงส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ของเจ้าหน้าที่กรอกข้อมูล และส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ของนายทหารฝ่ายเสนาธิการ ตามภาพประกอบ 7 และ 8 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 6 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้



ภาพประกอบ 7 แผงควบคุมการเพิ่มจุดข้อมูล และการใส่ข้อมูลรายละเอียดของคุณลักษณะ



ภาพประกอบ 8 ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ของการใส่เครื่องหมายทางทหารในการวางแผนทางทหาร

6. สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอส สามารถช่วยนายทหารฝ่ายเสนาธิการให้สามารถวางแผนทางทหารได้อย่างเหมาะสม ด้วยความสามารถดังนี้ 1) สามารถสืบค้นสถานที่ต่างๆ จากชื่อสถานที่ 2) สามารถสืบค้นสถานที่ต่างๆ จากรายละเอียดของคุณลักษณะของสถานที่ 3) สามารถตรวจสอบรายละเอียดของคุณลักษณะของสถานที่ 4) สามารถคำนวณเส้นทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง 5) สามารถสร้างเครื่องหมายทางทหารลงบนแผนที่ และ 6) สามารถสร้างจุดสมมุติ และเส้นสมมุติ

7. ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ออกแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการวางแผนทางทหาร โดยใช้บริการแพลตฟอร์มคลาวด์แบบพีเอเอสนี้ แม้ว่าจะมีประโยชน์มหาศาลต่อนายทหารฝ่ายเสนาธิการในการวางแผนทางทหาร แต่การใช้ระบบดังกล่าว ผู้ใช้จำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับการวางกำลังในสนามรบ เครื่องหมายทางทหาร เครื่องหมายแสดงแนว ปัจจัยการพิจารณายุทธปัจจัยเกี่ยวกับภูมิประเทศ (OCOKA) ข้อพิจารณาปัจจัยมูลฐานทางยุทธวิธี (ปัจจัย METT-T) และอีกหลายๆ อย่างซึ่งเป็นความรู้ที่นายทหาร

ฝ่ายธนาคารจำเป็นต้องรู้ หากผู้ใช้ระบบไม่มีความรู้ที่เพียงพอแล้ว ก็ไม่อาจใช้ระบบได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และตรงกับเป้าประสงค์ของผู้พัฒนาระบบได้เลย

8. รายการอ้างอิง

- สุพจน์ หาบอุปการ และคณะ. 2556. "โปรแกรมระบบตรวจสอบโครงสร้างหลักสูตรมหาวิทยาลัยราชภัฏ นครศรีธรรมราช." วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช. 32, 1: 1-13.
- ณพัชรวิดี แสงบุญนำ. 2547. "การออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศโดยใช้หลักการ UML บนฐานข้อมูลเชิงวัตถุ." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- สมนึก จิระศิริโสภณ. 2558. "โครงการศึกษาด้านสารสนเทศ เรื่อง Cloud Computing.", สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2558, จาก http://kmcenter.rid.go.th/center/_data/docs/kcitic/Cloud_Computing.pdf
- David Chappel. 2011. "GIS in the Cloud.", Retrieved October 11, 2015, from <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/gis-in-the-cloud-chappell.pdf>
- นรเศรษฐ์ ทองคำ. 2553. "การติดตั้งและใช้งาน XAMPP เบื้องต้น.", สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2558, จาก <http://lecture.cs.buu.ac.th/~f53370/ass03/50036382/XAMPP.odt>
- คณะกรรมการจัดการความรู้ของ ผท.ทหาร. 2556. "การรวบรวมข้อมูลภูมิสารสนเทศในภูมิประเทศ.", สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2558, จาก http://www.rtsd.mi.th/KM/PDF/KM_002.pdf
- โรงเรียนธนาคารทหารบก. 2546. สรุปหลักพื้นฐานทางวิชาการ ชุดที่ ๑๐ การอ่านแผนที่ และเครื่องหมายทางทหาร. กรุงเทพฯ: โรงเรียนธนาคารทหารบก.
- บริษัท โกลบเทค จำกัด. 2558. "เกี่ยวกับบริษัท.", สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2558, จาก <http://www.nostramap.com/about/company/>