



วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2561 / Vol. 5, No.2 July - December 2018

บทความวิจัย

หน้า

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความดันของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล
ดิณณภพ จุ่มอิน พิศิษฐ์ แซ่ตัน สุพรรณนา พราวแดง สุภาพรณ สัจวรรณ และสุริยา พันธุ์โกศล 1-10
2. การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์
ทรงพล นครศรีเรืองศักดิ์ และสุทธิลักษณ์ ชุนประวัตติ 11-19
3. การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ละอองน้ำลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์
สิทธิพัฒน์ ภูทอง วิชาญ วิมานจันทร์ เฉลิมพล เมืองลือ และปรีดา จันทวงษ์ 20-26
4. กระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อใช้ในงานด้านความมั่นคง ภัยพิบัติและพื้นที่ห่างไกล
ฐกฤต ปานชลธิบ จุไรรัตน์ ดวงเดือน และฐกฤต อดทนกันท์ 27-34
5. การศึกษาผลของความตระหนักของความสำเร็จของการอนุรักษ์พลังงานผ่านความร่วมมือในการอนุรักษ์
พลังงานในโรงเรียน
ศิวกร กาญจนปัทม และฐกฤต ปานชลธิบ 35-42
6. การศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการขยะอันตรายที่มีประสิทธิภาพ
เชษฐภักดิ์ ลีลาศรีศิริ และชุตติมาพร หมอนใหญ่ 43-53
7. แนวทางการพัฒนาการินโลจิสติกส์ในการบริหารการจัดการภาคการขนส่งสินค้า
ชลิตา โปะมา 54-65

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College
ISSN 2392-5701

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดทำโดย บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ความรู้และวิทยาการ ทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น วารสารเปิดรับบทความจาก ภายในและภายนอก รวมถึงต่างประเทศ แบบเต็มรูปแบบ (Full Paper) รวมถึงบทความวิชาการ (Review Articles) บทความที่เสนอมาอาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ วารสารจัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม และ มิถุนายน สามารถส่งต้นฉบับได้โดยตรงที่ บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามที่อยู่ด้านล่าง โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และเป็นข้อคิดเห็นของผู้ส่งบทความเท่านั้น

เจ้าของ		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
บรรณาธิการ		
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รฤกฤต ปานขลิบ		คณบดี คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
คณะกรรมการบรรณาธิการ		
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จงสุพรรณพงศ์		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.เชษฐภณัฐ ลีลาศรีศิริ		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.สุทธิลักษณ์ ชูประวัตติ		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์จิรวัดน์ กรุณา		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์อองอาจ วิเศษสุข		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
อาจารย์ธเนศ วิลาสมงคลชัย		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ฝ่ายจัดการและเลขานุการกองบรรณาธิการ		
อาจารย์ประจักษ์ พรหมงาม		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
นางสาวพรทิพย์ ชุนดี		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
นางสาววิภาภรณ์ บุญเลี้ยง		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
นางสาวสิริธร โพธิ์ทอง		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
นายเกษมสันต์ เกษมอรุณรัตน์		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน		
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิน ไซนันนท์		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สิทธิพันธุ์ ไซนันนท์		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.ภูเทพ ดอนท้วม		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ดร.อภิรักษ์ ภูแก้วล้วน		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก		
ศาสตราจารย์ ดร.ดำรง ชุมมงคล		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ ทิมทรัพย์		มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย
รองศาสตราจารย์ ดร.ปริดา จันทพงษ์		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ		มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุ่มพงค์ ไทยแสบ		มหาวิทยาลัยชินวัตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ตัวทองสุข		มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์		มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ดร.ณัฐภูมิ อินทบุตร		มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.สุนทร แสงเพชร		มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี
ดร.สุรชาติ จันทรชิต		มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรวิทยาดิบบุรี
ฝ่ายประสานงานและจัดการ		
นางสาววิภาภรณ์ บุญเลี้ยง		วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
วัตถุประสงค์		
• เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ • เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการ และนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอก • เพื่อเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ		
การส่งบทความ		
• ส่งไฟล์ทาง E-mail (MS Word และ PDF) ไปที่ jeet.stc@gmail.com • ทางเว็บไซต์ของวารสาร http://jeet.siamtechu.net/		
กำหนดออกวารสาร	ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม และ มิถุนายน	
พิมพ์ที่	บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด	
	99/164 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวง ทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่	
	โทรศัพท์ 025751791 โทรสาร 025751793 เว็บไซต์ www.protexst.com	
การเผยแพร่	จัดส่งให้กับห้องสมุด งานบริการวิชาการ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	
	และเผยแพร่ทางทางเว็บไซต์ jeet.siamtechu.net	
สำนักงาน	กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม	สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
	เลขที่ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ 10 แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600	โทรศัพท์ 02-878-5035 แฟกซ์ 02-878-5002

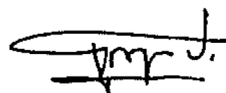
“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

บทบรรณาธิการ

วันนี้ถ้าไม่พูดถึง “ประเทศไทย 4.0” ก็คงไม่ได้ แล้วมันคืออะไร ผมยังเชื่อว่าประชาชนคนไทยอีกหลายคนก็ยังคงไม่เข้าใจและอดสงสัยไม่ได้ว่า เราจะไปยังเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ได้จริงหรือ ลองย้อนกลับไปมองภาพของประเทศไทยในอดีตที่ผ่านมา ซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามลำดับ เริ่มตั้งแต่ “ประเทศไทย 1.0” ที่เน้นทางภาคการเกษตร ไปสู่ “ประเทศไทย 2.0” ที่เน้นอุตสาหกรรมเบา และก้าวเข้าสู่ปัจจุบัน “ประเทศไทย 3.0” ที่เน้นอุตสาหกรรมหนัก ซึ่งในขณะนี้ ประเทศก็ต้องเผชิญกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆ มากมาย จนไม่อาจนำพาประเทศพัฒนาไปไกลได้มากกว่านี้ ทำให้รัฐบาลจำเป็นต้องจะต้องวางแผนและสร้างโมเดลใหม่ขึ้นมาเพื่อปฏิรูปเศรษฐกิจของประเทศ โดยจะนำพาประชาชนก้าวสู่ “ประเทศไทย 4.0” ให้ได้ในอนาคตอันใกล้นี้ แล้วประเทศไทย 4.0 คืออะไร จะนำพาประเทศไปยังทิศทางไหน เราลองมาฟังบทสรุปจากผู้นำประเทศกันดีกว่า

“ประเทศไทย 4.0” เป็นความมุ่งมั่นของนายกรัฐมนตรี ที่ต้องการปรับเปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจ ไปสู่ Value-Based Economy หรือ เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรม กล่าวคือ ในปัจจุบันเรายังติดอยู่ในโมเดลเศรษฐกิจแบบ ทำมากได้น้อย เราต้องการปรับเปลี่ยนเป็น ทำน้อยได้มาก ซึ่งหมายถึงการขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างน้อยใน 3 มิติที่สำคัญ คือ มิติแรก เปลี่ยนจากการผลิตสินค้า โภคภัณฑ์ ไปสู่สินค้า เชิงนวัตกรรม มิติที่สอง เปลี่ยนจากการขับเคลื่อนประเทศด้วยภาคอุตสาหกรรม ไปสู่การขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์ และนวัตกรรม และมิติที่สาม เปลี่ยนจากการเน้นภาคการผลิตสินค้า ไปสู่การเน้นภาคบริการมากขึ้น โดยหมายถึงการเปลี่ยนผ่านทั้งระบบใน 4 องค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งก็คือ (1) เปลี่ยนจากการเกษตรแบบดั้งเดิมไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ ที่เน้นการบริหารจัดการและเทคโนโลยี (2) เปลี่ยนจาก Traditional SMEs หรือ SMEs เดิม ที่รัฐต้องให้ความช่วยเหลืออยู่ตลอดเวลา ไปสู่การเป็น Smart Enterprises และ Startups ที่มีศักยภาพสูง (3) เปลี่ยนจาก Traditional Services ซึ่งมีการสร้างมูลค่าค่อนข้างต่ำ ไปสู่ High Value Services (4) เปลี่ยนจากแรงงานทักษะต่ำ ไปสู่แรงงานที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญ และทักษะสูง โดยจะต้องมุ่งเน้นในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจด้วยนวัตกรรม อันประกอบไปด้วย ความคิดสร้างสรรค์ นวัตกรรม วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการวิจัยและพัฒนา ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเป้าหมาย อันประกอบด้วย (1) กลุ่มอาหาร เกษตร และเทคโนโลยีชีวภาพ (2) กลุ่มสาธารณสุข สุขภาพ และเทคโนโลยีทางการแพทย์ (3) กลุ่มเครื่องมืออุปกรณ์อัจฉริยะ หุ่นยนต์ และระบบเครื่องกลที่ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุม (4) กลุ่มดิจิทัล เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่อและบังคับอุปกรณ์ต่างๆ ปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (5) กลุ่มอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ วัฒนธรรม และบริการที่มีมูลค่าสูง

โดยกลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมเป้าหมายเหล่านี้ จะเป็นแพลตฟอร์มในการสร้าง “New Startups” ต่างๆ มากมาย อาทิ เทคโนโลยีการเกษตร (Agritech) เทคโนโลยีอาหาร (Foodtech) เทคโนโลยีสุขภาพ (Healthtech) เทคโนโลยีการแพทย์ (Meditech) สปา เทคโนโลยีหุ่นยนต์ (Robotech) เทคโนโลยีด้านการเงิน (Fintech) อุปกรณ์เชื่อมต่อออนไลน์ โดยไม่ต้องใช้คน (IoT) เทคโนโลยีการศึกษา (Edtech) อีมาร์เก็ตเพลส (E-Marketplace) อีคอมเมิร์ซ (E-Commerce) เทคโนโลยีการออกแบบ (Designtech) ธุรกิจไลฟ์สไตล์ (Lifestyle Business) เทคโนโลยีการท่องเที่ยว (Traveltech) การเพิ่มประสิทธิภาพการบริการ (Service Enhancing) เป็นต้น



(ดร. รุกฤต ปานชลธิบ)

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความดันของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล

A Correlation of Density and Pressure of Fatty Acid Methyl Ester and Biodiesels

ติณณภพ จุ่มอิน^{1*} พิศิษฐ์ แซ่ตัน² สุพรรณา พราวแดง³ สุภาพรณ สัจจวรรณ⁴ สุริยา พันธุ์โกศล⁵
Thinnaphop Chum-in^{1*} Pisit Saetan² Supanna Prawdang³ Suphapan Satchawan⁴ Suriya Phankosol⁵

^{1,2} สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม 10900

³ สำนักงานคณบดี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม 10900

⁴ สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร 10900

⁵ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ
บ้านสมเด็จเจ้าพระยา 10600

*E-mail: thinnaphop@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาความสัมพันธ์ความหนาแน่นของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (FAME) กับอุณหภูมิและความดันเพื่อใช้ในการประมาณค่าความหนาแน่นที่สภาวะความดันสูง โดยอาศัยวิธีการรวบรวมพลังงานกิบส์ สมการที่พัฒนาขึ้นถูกใช้ในการประมาณค่าความหนาแน่นสำหรับกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซลทั้งหมด 8 ชนิด ในช่วงอุณหภูมิและความดันเท่ากับ 283.15 – 338.15 K และ 0.1 – 80 MPa โดยมีความแม่นยำสูง และสามารถใช้ประมาณค่าความหนาแน่นได้ทั้งอุณหภูมิและความดันในสมการเดียว ดังนั้นจึงคาดว่าสมการจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นที่สภาวะอุณหภูมิและความดันใดๆ ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์, ความดันสูง, ความสัมพันธ์, ไบโอดีเซล

ABSTRACT

This research aims to develop the relationship of density of fatty acid methyl ester (FMAE) with temperature and pressure for estimating the density at high pressure. The equation was developed by using the Gibbs energy method. These were used to estimate the density of FAME and biodiesels of 8 types in the temperatures and pressures range of 283.15 – 338.15 K and 0.1 – 80 MPa which high accuracy. In addition, the equation can be estimated the density at different temperatures and pressures as the same equation. Therefore, there are expected that the equation is very useful for the study of density changes in different temperatures and pressures.

Keywords: Biodiesel, Correlation, Fatty acid methyl, Pressure

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนชนิดหนึ่งที่สำคัญสำหรับนำมาทดแทนน้ำมันดีเซล เนื่องจากมีสมบัติที่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปไบโอดีเซลคือผลิตภัณฑ์ร่วมกับกลีเซอรอลที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์กับแอลกอฮอล์ โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรดหรือเบส ไบโอดีเซลสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยตรงโดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ หรืออาจจะใช้เป็นส่วนผสมหนึ่งของน้ำมันดีเซล เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นสำหรับการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ โดยทั่วไปแล้วไบโอดีเซลจะมีสมบัติที่แตกต่างกันไปตามน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาทำเป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซล และเมื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์สมบัติต่างๆ ก็จะขึ้นกับทั้งอุณหภูมิและความดัน ด้วยเช่นกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบันทำงานในสภาวะอุณหภูมิและความดันสูง ซึ่งการเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพต่างๆ จะมีผลกระทบโดยตรงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์และการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ [1] ซึ่งความหนาแน่นก็เป็นสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดันเช่นกัน โดยวิธีการศึกษาความหนาแน่นก็จะใช้วิธีการทดลองด้วยเครื่องมือวัดความหนาแน่นที่สภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ [2] ซึ่งในบางครั้งอาจจะจำเป็นที่จะต้องทำการทดลองซ้ำกันหลายๆ รอบ ทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาสมการความสัมพันธ์ต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นเครื่องมืออย่างง่ายในการประมาณค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลขึ้นมา [3-6] ซึ่งสมการต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมาจะมีข้อดี คือ ช่วยให้การศึกษาวฏัตกรรมความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและความดันต่างๆ ทำได้ง่ายขึ้น มีความสะดวกรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นของระหว่างความหนาแน่น อุณหภูมิ และความดันของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซลผ่านความสัมพันธ์ของตัวแปรพลังงานกิบส์ เพื่อใช้สำหรับการประมาณค่าความหนาแน่นในสภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ โดยผ่านตัวแปรพลังงานกิบส์ที่สามารถควมรวมเข้าด้วยกันได้ และขยายให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของเอนทัลปีและเอนโทรปี ซึ่งทั้งหมดเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ ซึ่งผู้วิจัยหวังว่าสมการที่ได้จะเป็นสมการที่ใช้งานง่าย มีความแม่นยำสูง สำหรับการประมาณค่าความหนาแน่นที่สภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ ได้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมการสำหรับการประมาณค่าความหนาแน่นที่สภาวะความดันสูง

Tait (1888) ได้นำเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความดันไว้ดังสมการที่ (1)

$$\frac{\rho - \rho_0}{\rho} = C \log \left(\frac{B + P}{B + P_0} \right) \quad (1)$$

เมื่อ ρ , ρ_0 , P , P_0 คือ ความหนืดที่สภาวะความดันใดๆ ความหนืดที่สภาวะความดันอ้างอิง ความดัน และความดันที่สภาวะอ้างอิง ตามลำดับ ส่วน B และ C คือ ค่าคงที่ของสมการ ซึ่งสมการของ Tait มีความนิยมอย่างมาก เนื่องจากสมการมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความดัน แต่อย่างไรก็ตามสมการยังไม่สามารถใช้ประมาณความหนาแน่นในสภาวะอุณหภูมิต่างๆ ได้ ทำให้เป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งของสมการ ต่อมา Pratas et al. (2011) [7] ได้พัฒนาสมการสำหรับการประมาณค่าความหนาแน่นของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซลขึ้น ดังสมการที่ (2) ทำให้สมการสามารถประมาณค่าความหนาแน่นได้ทั้งในสภาวะความดันและอุณหภูมิต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าสมการยังคงมีความยุ่งยากในการใช้งานและมีพจน์ที่ต้องคำนวณจำนวนมาก

$$\rho = \frac{\rho(T, P = 0.1 \text{ MPa})}{\left[1 - C \ln \frac{(B + P)}{(B + 0.1)} \right]} \quad (2)$$

เมื่อ

$$\rho(T, P = 0.1 \text{ MPa}) = a_1 + a_2 T + a_3 T^2 \quad (2-1)$$

ซึ่ง $a_1 - a_3$ คือ ค่าคงที่จากการพล็อตกราฟของข้อมูลการทดลองความหนาแน่นที่สภาวะความดัน 0.1 MPa สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ B จะหาได้ความสัมพันธ์กับสมการพหุนามกำลังสองกับอุณหภูมิ ดังนี้

$$B = b_1 + b_2 T + b_3 T^2 \quad (2-2)$$

2.2 การประยุกต์ใช้แนวคิดการควมรวมพลังงานกิบส์

พลังงานกิบส์ถือเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ที่สำคัญตัวหนึ่ง สำหรับอธิบายถึงทิศทางของกระบวนการที่เกิดขึ้นในระบบ และจัดเป็นฟังก์ชันสภาวะ เมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิคงที่ โดยมีสมการความสัมพันธ์อย่างง่ายดังสมการที่ (3) [8]

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (3)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและพลังงานกิบส์เนื่องจากการขยายตัวของสสารจะมีความสัมพันธ์ในรูปแบบฟังก์ชันเอ็กซโปเนนเชียลดังสมการที่ (4) ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวได้รับการพัฒนามาจาก Phankosol et al. [9]

$$\rho = e^{-\Delta \tilde{G}/RT} \quad (4)$$

เมื่อ $\Delta \tilde{G} = \Delta G_{\text{exp}} / n$ โดยที่ ρ , R , T , ΔG_{exp} และ n คือ ความหนาแน่น ค่าคงที่ของแก๊ส อุณหภูมิสัมบูรณ์ พลังงานกิบส์เนื่องจากการขยายตัว และจำนวนโมล ตามลำดับ

สำหรับสภาวะความดันสูงพลังงานกิบส์จะมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้นตรงกับความดัน ดังสมการที่ (5) [10]

$$\sum \Delta G_{P, \text{total}} = \Delta G_{\text{atm}} + P' \Delta G_{P_i} \quad (5)$$

เมื่อ $\Delta G_{P, \text{total}}$, ΔG_{atm} และ ΔG_{P_i} คือ พลังงานกิบส์รวมที่สภาวะความดันใดๆ พลังงานกิบส์ที่ความดันบรรยากาศ และ พลังงานกิบส์ที่ความดันใดๆ ตามลำดับ โดยที่

$$P' = \frac{P - P_{\text{atm}}}{P_{\text{atm}}} \quad (5-1)$$

เมื่อ p และ p_{atm} คือ ความดันใดๆ และความดันที่สภาวะบรรยากาศตามลำดับ

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความหนืดของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล

จากสมการที่ (4) เมื่อแทนด้วยสมการที่ (5) จะทำให้ได้สมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (6)

$$\ln \rho = - \frac{(\Delta G_{\text{atm}} + P' \Delta G_{P_i})_{\text{exp}}}{RT} \quad (6)$$

เมื่อทำการขยายสมการที่ (6) ให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์กับเอนทัลปีและเอนโทรปี จะได้ดังสมการที่ (7)

$$\ln \rho = - \frac{((\Delta H - T \Delta S)_{\text{atm}} + P' (\Delta H - T \Delta S)_{P_i})_{\text{exp}}}{RT} \quad (7)$$

ทำการจัดรูปสมการที่ (7) จะได้ดังสมการที่ (8)

$$\ln \rho = s_1 + \frac{h_1}{T} + P' \left(s_2 + \frac{h_2}{T} \right) \quad (8)$$

$$\text{เมื่อ } s_1 = \frac{(\Delta S)_{atm,exp}}{R}, h_1 = -\frac{(\Delta H)_{atm,exp}}{R}, s_2 = \frac{(\Delta S)_{P_i,exp}}{R}, h_2 = -\frac{(\Delta H)_{P_i,exp}}{R}$$

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้สำหรับการหาค่าคงที่ของสมการและสอบเทียบสมการสำหรับการศึกษาค้างนี้แสดงดังตารางที่ 1

4.2 การหาคงที่ของสมการ

ค่าคงที่ของสมการจะใช้วิธีการหาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Multiple Regression Analysis) ในโปรแกรมเอ็กซ์เซลรุ่น 2016

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการเปรียบเทียบความแม่นยำของสมการระหว่างการประมาณค่าของสมการและค่าที่ได้จากการทดลองในครั้งนี้จะใช้วิธีการหาค่าความเอนเอียง (Bias, %) และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (AAD, %) ดังสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ

$$Bias(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\rho_{exp,i} - \rho_{cal,i}}{\rho_{exp,i}} \right) \quad (9)$$

และ

$$AAD(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\rho_{exp,i} - \rho_{cal,i}}{\rho_{exp,i}} \right| \quad (10)$$

เมื่อ $\rho_{lit,i}$, $\rho_{cal,i}$ และ N คือ ความหนาแน่นที่ได้จากข้อมูลการทดลอง จากการคำนวณ และจำนวนข้อมูลตามลำดับ

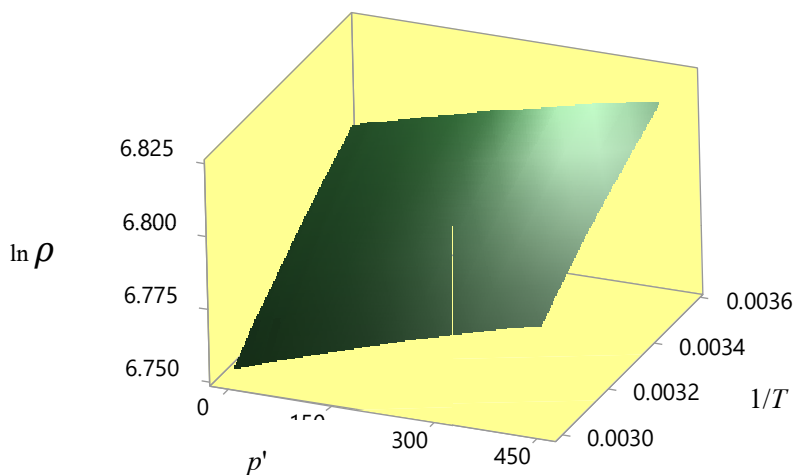
ตารางที่ 1 ข้อมูลสำหรับการหาค่าคงที่ของสมการและสอบเทียบสมการ

FAME/Biodiesels	จำนวนข้อมูล	แหล่งอ้างอิง
Saturated FAME		
Methyl Myristate (C14:0)	24	Ndiaye et al. [2]
Methyl Palmitate (C16:0)	18	Ndiaye et al. [2]
Unsaturated FAME		
Methyl Oleate (C18:1)	70	Ndiaye et al. [2]
Methyl Linoleate (C18:2)	25	Ndiaye et al. [2]
Biodiesels		
Soybean	84	Prieto et al. [11], Pratas et al. [12]
Rapeseed A	84	Prieto et al. [11], Pratas et al. [12]
Rapeseed B	35	Dzida and Prusakiewicz [13]
Cottonseed	90	Prieto et al. [11]
Palm	84	Prieto et al. [11], Pratas et al. [12]

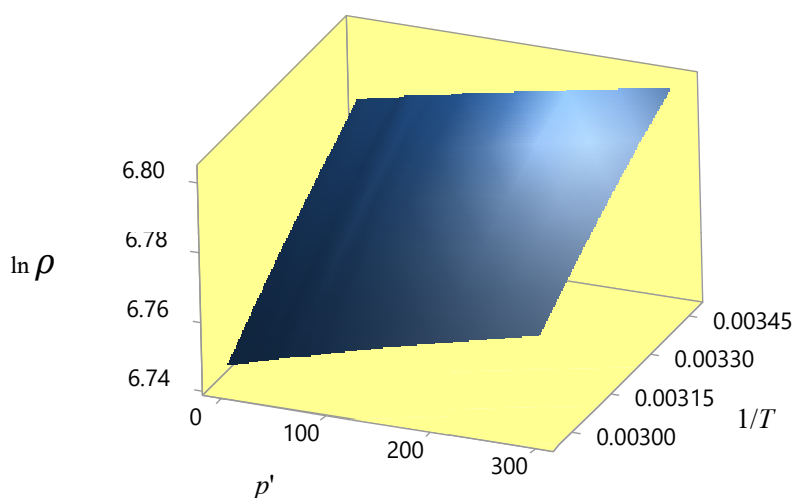
5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่น

โดยทั่วไปแล้วจะพบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลง ในขณะที่เมื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความดันจะพบว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตาม [9, 12, 14, 15] ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น อุณหภูมิ และความดัน เมื่อทำการพล็อตกราฟสามมิติสำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันถั่วเหลือง (Soybean) และน้ำมันเมล็ดฝ้าย (Cottonseed) แสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการณ์ลดลงหรือเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลงตามที่ได้อธิบายมาแล้วดังแสดงในรูปที่ 1



(ก) Soybean



(ข) Cottonseed

รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่น p' และ $1/T$ สำหรับไบโอดีเซล (ก) Soybean และ (ข) Cottonseed

5.2 ค่าคงที่ของสมการที่ (8) สำหรับของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล

ค่าคงที่ของสมการสำหรับกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล แต่ละชนิดจะเป็นค่าเฉพาะตัวของแต่ละชนิด เนื่องจากกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์จะมีจำนวนคาร์บอนอะตอม และพันธะคู่ที่ต่างกัน ซึ่งทั้งสองตัวแปรนี้จะมีผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายภาพด้วยเช่นกัน [9] สำหรับไบโอดีเซลนั้น จะเป็นการผสมกันระหว่างกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดต่างๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน ตามน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นไบโอดีเซลก็จะมีค่าคงที่ของสมการเฉพาะตัวของแต่ละชนิดน้ำมันที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการนำมาผลิตไบโอดีเซลเช่นกัน โดยตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงค่าคงที่ของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ Methyl Myristate (C14:0) และ Methyl Palmitate (C16:0) กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ Methyl Oleate (C18:1) และ Methyl Linoleate (C18:2) และไบโอดีเซล ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง (Soybean) น้ำมันเมล็ดฝ้าย (Cottonseed) น้ำมันเรพซีด (Rapeseed) และน้ำมันปาล์ม

(Palm) โดยสมการส่วนใหญ่ให้ค่า %Bias ตีลบ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าสมการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยส่วนใหญ่แล้วเมื่อนำไปประมาณค่าสมบัติความหนาแน่นของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล จะให้ค่าที่น้อยกว่าค่าจากการทดลอง

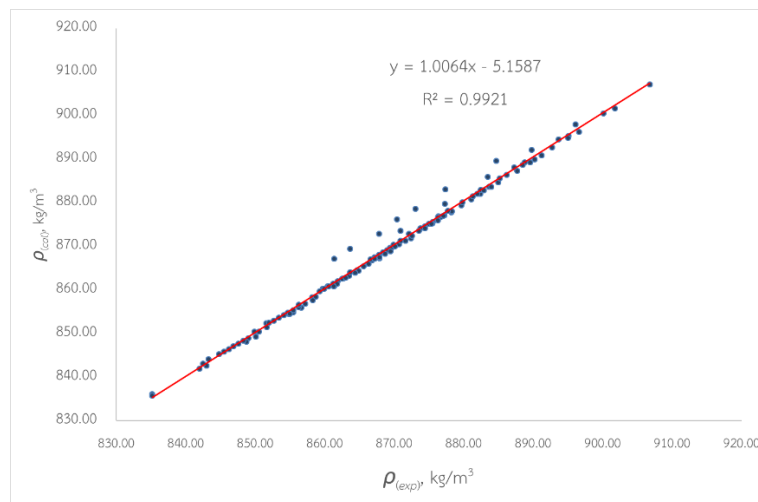
5.3 ผลการทดสอบสมการสำหรับกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล

จากตารางที่ 2 และ 3 จะพบว่าสมการสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความหนาแน่นของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในสภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ โดยสามารถประมาณค่าได้ในอุณหภูมิช่วง 293.15 – 333.15 K และความดันช่วง 0.1 – 50 MPa โดยมีค่า AD สูงสุดเท่ากับ 0.673% มีค่า AAD ทั้งหมดเท่ากับ 0.075 % และมีค่า AD ที่มากกว่าค่า AAD เท่ากับ 15.328% หรือเพียงแค่ 21 ข้อมูลจากข้อมูลทั้งหมด 137 ข้อมูล เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นที่ได้จากการประมาณค่าและค่าจากการทดลอง พบว่ามีความเป็นเส้นตรงสูง โดยมีค่าจุดตัดแกน ค่าความชัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่า S.D. เท่ากับ 1.0064, -5.1587, 0.9921, และ 14.923 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2

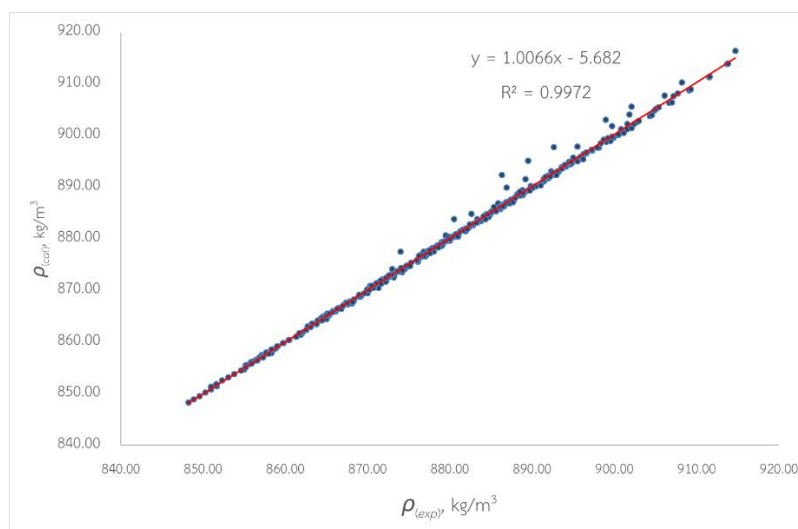
จากตารางที่ 2 และ 3 จะพบว่าสมการสามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าความหนาแน่นของทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในสภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ โดยสามารถประมาณค่าได้ในอุณหภูมิช่วง 283.1 - 333.15 K และความดันช่วง 0.1 – 50 MPa โดยมีค่า AD สูงสุดเท่ากับ ที่เกิน 0.682% มีค่า AAD ทั้งหมดเท่ากับ 0.0414% และมีค่า AD ที่เกินค่า AAD เท่ากับ 25% หรือจำนวน 94 ข้อมูลจากข้อมูลทั้งหมด 377 ข้อมูล เมื่อพล็อตกราฟระหว่างค่าความหนาแน่นที่ได้จากการประมาณค่าและค่าจากการทดลอง พบว่ามีความเป็นเส้นตรงสูง โดยมีค่าจุดตัดแกน ค่าความชัน ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และค่า S.D. เท่ากับ 1.0066, -5.682, 0.9972, และ 14.474 ตามลำดับ โดยกราฟสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าคงที่สำหรับสมการที่ (8) สำหรับกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซล

กรดไขมันเมทิลเอเทอร์/ ไบโอดีเซล	ช่วงอุณหภูมิ (K)	ช่วงความดัน (MPa)	ค่าคงที่				Bias (%)
			s_0	s_1	h_0	h_1	
กรดไขมันเมทิลเอเทอร์อิ่มตัว							
Methyl Myristate (C14:0)	303.1 - 333.15	0.1 - 50	0.005770	-1.537390	0.000190	-0.037236	-0.106
Methyl Palmitate (C16:0)	313.1 - 333.15	0.1 - 50	0.000910	-0.069320	0.000210	-0.045330	-0.103
กรดไขมันเมทิลเอเทอร์ไม่อิ่มตัว							
Methyl Oleate (C18:1)	293.1 - 333.15	0.1 - 45	0.001810	-0.411160	0.000170	-0.032260	-0.020
Methyl Linoleate (C18:2)	313.1 - 333.15	0.1 - 50	0.000210	0.076920	0.000154	-0.027530	-0.007
ไบโอดีเซล							
Soybean	283.1 - 333.15	0.1 - 45	0.001071	-0.218822	0.000154	-0.027943	-0.015
Rapeseed A	293.1 - 318.15	0.1 - 80	-0.007220	2.305690	0.000228	-0.050249	-0.064
Rapeseed B	283.1 - 333.15	0.1 - 45	0.000860	-0.150955	0.000153	-0.027793	0.007
Cottonseed	288.1 - 338.15	0.1 - 30	0.001128	-0.256927	0.000178	-0.034506	-0.001
Palm	283.1 - 333.15	0.1 - 45	-0.000476	0.209188	0.000185	-0.036581	-0.021



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความหนาแน่นของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวจากการทดลองและการประมาณค่าด้วยสมการที่ (8)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลจากการทดลองและการประมาณค่าด้วยสมการที่ (8)

5.4 การเปรียบเทียบค่า AAD กับสมการอื่นๆ

จากตารางที่ 3 พบว่าสมการที่ (8) โดยค่าคงที่ตามตารางที่ 2 สามารถประมาณค่าความหนาแน่นทั้งกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์อิ่มตัว ไม่อิ่มตัว และไบโอดีเซล โดยให้ค่า AAD สูงสุด เท่ากับ 0.148%, 0.046% และ 0.116% ซึ่งเป็นค่าของ Methyl Myristate (C14:0), Methyl Oleate (C18:1) และ Rapeseed A ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับสมการของ Pratas et al. [12] และ Prieto et al. [11] แล้วพบว่าค่า AAD ที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 3 สรุปค่า AAD ของสมการที่ (8) และสมการอื่นๆ

FAME/Biodiesels	สมการที่ (8)	Pratas et al. [12]	Ndiaye et al. [2]	Ndiaye et al. [16]	Prieto et al. [11] ^a	Prieto et al. [11] ^b	Prieto et al. [11] ^c
Saturated FAME							
Methyl Myristate (C14:0)	0.146	0.990	0.036				
Methyl Palmitate (C16:0)	0.148		0.052				
Unsaturated FAME							
Methyl Oleate (C18:1)	0.046	0.840		0.002			
Methyl Linoleate (C18:2)	0.036			0.002			
Biodiesels							
	0.042	0.790			0.550	0.060	0.04(2)
Soybean							0.03(4)
Rapeseed A	0.116	2.510			0.610	0.130	0.19(1)
Rapeseed B	0.032						
Cottonseed	0.019				0.500	0.160	0.17(4)
Palm	0.043	1.130			0.490	0.130	0.21(4)

^a Prieto et al. คำนวณโดยวิธี Extended GCVOL [11], ^b Prieto et al. คำนวณโดยวิธี Degree of unsaturation [11] และ

^c Prieto et al. คำนวณโดยวิธี 4PGMA EoS [11]

6. สรุปผล

จากการพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์และไบโอดีเซลกับอุณหภูมิและความดันผ่านความสัมพันธ์กับตัวแปรพลังงานกิบส์ในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นลดลง และเมื่อความดันเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นตาม หรืออาจกล่าวได้ว่าอิทธิพลของอุณหภูมิจะแปรผกผันกับความหนาแน่น ในขณะที่ความดันจะแปรผันตรงกับความหนาแน่น และเมื่อใช้สมการความสัมพันธ์อย่างง่ายไปประมาณความหนาแน่นในสภาวะอุณหภูมิและความดันต่างๆ พบว่าสมการสามารถประมาณค่าได้ครอบคลุมอุณหภูมิ 283.1 – 338.15 K และความดัน 0.1 – 80 MPa โดยมีความแม่นยำสูง ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่นำสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี โดยสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษมที่ได้อุดหนุนทุนวิจัยงบประมาณรายได้ (สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่) ปี 2560 (มรท.จช. เลขที่ 28) มา ณ โอกาสนี้ด้วย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ghazali, W.N.M.W., et al., *Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions : Areview*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015. **51**: p. 585–602.
- [2] Ndiaye, E.H.I., et al., *Speed of Sound, Density, and Derivative Properties of Ethyl Myristate, Methyl Myristate, and Methyl Palmitate under High Pressure*. Journal of Chemical & Engineering Data, 2013. **58**(5): p. 1371-1377.
- [3] Barabás, I., *Predicting the temperature dependent density of biodiesel–diesel–bioethanol blends*. Fuel, 2013. **109**: p. 563-574.
- [4] Pratas, M.J., et al., *Biodiesel Density: Experimental Measurements and Prediction Models*. Energy & Fuels, 2011. **25**(5): p. 2333-2340.
- [5] Ramírez Verduzco, L.F., *Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature: Empirical models*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. **19**: p. 652-665.
- [6] Ndiaye, E.H.I., D. Nasri, and J.L. Daridon, *Speed of Sound, Density, and Derivative Properties of Fatty Acid Methyl and Ethyl Esters under High Pressure: Methyl Caprate and Ethyl Caprate*. Journal of Chemical & Engineering Data, 2012. **57**(10): p. 2667-2676.
- [7] Pratas, M.J., et al., *High-Pressure Biodiesel Density: Experimental Measurements, Correlation, and Cubic-Plus-Association Equation of State (CPA EoS) Modeling*. Energy & Fuels, 2011. **25**: p. 3806–3814.
- [8] Hammes, G.G., *Physical Chemistry for The Biological Sciences*. 2nd ed, ed. G.G. Hammes and S. Hammes-Schiffer. 2015: John Wiley & Sons, Inc. 485.
- [9] Phankosol, S., et al., *Estimation of Density of Biodiesel*. Energy and Fuels, 2014. **28**: p. 4633–4641.
- [10] Chum-in, T., et al., *Gibbs energy additivity approaches to QSPR in modeling of high pressure density and kinematic viscosity of FAME and biodiesel*. Fuel Processing Technology, 2017. **156**: p. 385–393.
- [11] Prieto, N.M.C.T., et al., *Correlation and prediction of biodiesel density for extended ranges of temperature and pressure*. Fuel, 2015. **141**: p. 23-38.
- [12] Pratas, M.J., et al., *High-Pressure Biodiesel Density: Experimental Measurements, Correlation, and Cubic-Plus-Association Equation of State (CPA EoS) Modeling*. Energy & Fuels, 2011. **25**(8): p. 3806-3814.
- [13] Dzida, M. and P. Prusakiewicz, *The effect of temperature and pressure on the physicochemical properties of petroleum diesel oil and biodiesel fuel*. Fuel, 2008. **87**: p. 1941–1948.
- [14] Chum-in, T., et al., *Gibbs energy additivity approaches to QSPR in modeling of high pressure density and kinematic viscosity of FAME and biodiesel*. Fuel Processing Technology, 2017. **156**: p. 385-393.
- [15] Schedemann, A., et al., *Measurement and correlation of biodiesel densities at pressures up to 130 MPa*. Fuel, 2013. **107**: p. 483-492.
- [16] Ndiaye, E.H.I., et al., *Speed of Sound, Density, and Derivative Properties of Methyl Oleate and Methyl Linoleate under High Pressure*. Journal of Chemical & Engineering Data, 2013. **58**(8): p. 2345-2354.

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์

Web Application Development for Managing Mikrotik Firewall

ทรงพล นคเรศเรืองศักดิ์^{1*} สุทธิลักษณ์ ชุนประวัต²Songpon Nakharacruangsak^{1*} Suttitilug Choonprawat²¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก² คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*E-mail: songpon@southeast.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไฟร์วอลล์ ของอุปกรณ์เราเตอร์ไมโครติกส์ ที่มีพื้นฐานการทำงานมาจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์ที่เน้นจัดการผ่านทางส่วนติดต่อผู้ใช้แบบบรรทัดคำสั่งที่เข้ายากให้อยู่ในรูปแบบของส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิกและเชื่อมต่อเพื่อสั่งการกับอุปกรณ์ผ่านทางเอพีไอ ทำให้การควบคุมและเขียนคำสั่งของไฟร์วอลล์บนอุปกรณ์เราเตอร์ไมโครติกส์ได้สะดวก รวมทั้งสามารถตรวจสอบสถานะการทำงานของคำสั่งต่าง ๆ เช่น การป้องกันการเข้าถึงเครือข่าย โดยพิจารณาจากที่อยู่ต้นทาง ที่อยู่ปลายทาง หรือผ่านโปรโตคอลต่างๆ ได้ง่ายขึ้น รวมทั้งยังจัดการได้ถึงระดับเลเยอร์ 7 ทำให้สามารถป้องกันการใช้งานแอปพลิเคชัน เช่น เฟซบุ๊ก ยูทูบ หรือเนื้อหาที่ไม่เหมาะสมได้ ผลการทดลอง พบว่า เว็บแอปพลิเคชันที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยผู้วิจัยได้ทำการประเมินความพึงพอใจในประสิทธิภาพการทำงานของระบบผ่านทางผู้ดูแลระบบเครือข่ายที่มีประสบการณ์จำนวน 5 คน พบว่า มีความพึงพอใจที่ 4.64 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: ไฟร์วอลล์, การรักษาความปลอดภัยเครือข่าย, ไมโครติกส์

ABSTRACT

This research aims to develop web applications for managing firewall with Mikrotik-router. Based on Linux operating system. Managed over the user interface. And incomprehensible command line is provided in the form of a graphical user interface. And connect to the device via the API. Make control and write the command of the firewall on the device. We can also check the status of commands such as network access protection. Based on the Source address. Destination address it is also easy to manage up to layers 7. It can prevent applications such as Facebook, YouTube or inappropriate content. The results showed that web application developed by the researcher can be used for any purpose. The researcher evaluated the satisfaction of the system performance through 5 experienced network administrators. The satisfaction was at 4.64, which was at a very good level.

Keywords: Firewall, Network Security, Mikro Tik

1. บทนำ

ในทศวรรษที่ผ่านมาเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเป็นโครงข่ายที่มีพื้นที่ครอบคลุมเป็นวงกว้างไปทุกพื้นที่ เมื่อองค์กรใดต้องการใช้ประโยชน์จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตก็จะนำเครือข่ายส่วนตัว (Local Area Network: LAN) ของตนเองเชื่อมต่อผ่านทางเทคโนโลยีเครือข่ายวงกว้าง (Wide Area Network: WAN) ที่ผู้ให้บริการเครือข่ายจัดเตรียมไว้ให้บริการ ทำให้การเข้าถึงทรัพยากรต่าง ๆ บนเครือข่ายส่วนตัว (Local Area Network: LAN) สะดวก และสามารถเข้าถึงได้จากทุกที่ ทุกเวลา แต่การเชื่อมต่อนี้ทำให้เกิดช่องโหว่ที่ผู้ไม่ประสงค์ดีสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการโจมตีส่งผลให้ระบบเครือข่ายไม่พร้อมใช้งาน หรือโจรกรรมข้อมูลที่เป็นความลับไปเปิดเผย รวมทั้งทำลายหรือลบข้อมูลที่สำคัญ ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับองค์กรต่างๆ เป็นอย่างมาก ดังนั้นไฟร์วอลล์จึงเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญต่อการป้องกันการโจมตีและการบุกรุกดังกล่าวได้เป็นอย่างดี โดยไฟร์วอลล์ สามารถแบ่งตามลักษณะได้เป็น 2 ประเภท [1, 2] คือ 1) ฮาร์ดแวร์ไฟร์วอลล์ มีลักษณะเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาให้ทำหน้าที่เป็นไฟร์วอลล์โดยเฉพาะ มีราคาสูง แต่มีความเร็วในการทำงาน และมีความปลอดภัยสูง เนื่องจากยากและไม่คุ้มค่าที่แฮกเกอร์จะเจาะผ่าน และ 2) ซอฟต์แวร์ไฟร์วอลล์ มีลักษณะเป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งบนระบบปฏิบัติการเช่นวินโดวส์ หรือลินุกซ์ มีราคาถูกกว่าฮาร์ดแวร์ไฟร์วอลล์ แต่เกิดช่องโหว่ได้ง่าย ถ้าระบบปฏิบัติการไม่อัปเดตอย่างสม่ำเสมอ การเลือกใช้ ภาควิชา 3) อนันต์ บัณฑิต และสุรศักดิ์ มั่งสิงห์ [4] ได้ทำการเปรียบเทียบไฟร์วอลล์ทั้ง 2 ประเภท และเสนอแนวทางการนำเอาระบบไฟร์วอลล์มาใช้งานกับองค์กรต่างๆ เพื่อความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากงบประมาณในการลงทุนให้เหมาะสมกับขนาดขององค์กร ซึ่งไฟร์วอลล์ทั้ง 2 ประเภทนี้จะทำหน้าที่เป็นประตูกันขวางระหว่างเครือข่ายภายในกับเครือข่ายภายนอกองค์กร และตัดสินใจภายใต้กฎไฟร์วอลล์ (Firewall Rules) ที่ทำงานและตัดสินใจเป็นรายบรรทัด โดยแต่ละบรรทัดจะถูกเขียนการกระทำที่ปฏิบัติต่อทราฟฟิกที่ตรงตามกฎไฟร์วอลล์ของแต่ละบรรทัดคือ อนุญาต (Permit) หรือ ปฏิเสธ (Deny) โดยกฎไฟร์วอลล์นี้จะถูกเขียนขึ้นตามนโยบายการรักษาความปลอดภัยเครือข่ายสำหรับพิจารณาทราฟฟิกให้ผ่านเข้าออกเครือข่ายขององค์กร แต่เมื่อมีการพิจารณากฎไฟร์วอลล์เป็นรายบรรทัดจึงทำให้ลำดับของกฎเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงาน เพราะถ้าวางลำดับผิดอาจทำให้กฎไฟร์วอลล์นั้นไม่ถูกพิจารณาส่งผลต่อประสิทธิภาพของไฟร์วอลล์ได้ เช่น งานวิจัยของ สุชาติ คุ่มมะณี และคณะ [5-6] ที่ให้ความสำคัญต่อลำดับของกฎไฟร์วอลล์ โดยสร้างสมการที่สามารถปรับลำดับกฎบนไฟร์วอลล์ เพื่อให้ไฟร์วอลล์ประมวลผล และใช้เวลาในการทำงานเร็วขึ้น แต่ปัจจุบันวิธีการจัดระเบียบเครือข่ายมีรูปแบบใหม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกวัน ทำให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายต้องมีความเข้าใจในการสร้างกฎไฟร์วอลล์ที่ดี พร้อมทั้งจะรับมือกับภัยคุกคามในรูปแบบต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม รวดเร็ว และทันเหตุการณ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้ไฟร์วอลล์ประเภทซอฟต์แวร์ไฟร์วอลล์ ในลักษณะของโอเพนซอร์สที่ติดมากับเราเตอร์ยี่ห้อไมโครติคส์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ วิสิทธิ์ ล้วนสมบูรณ์ และกายรัฐ เจริญราษฎร์ [7] ที่ใช้ลินุกซ์ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์สป้องกันการโจมตีเครื่องแม่ข่ายจากการคุกคามทางอินเทอร์เน็ต เพราะซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์สมีความเหมาะสมกับองค์กรทุกขนาด และประหยัดงบประมาณในติดตั้งและพัฒนา แต่เนื่องจากเราเตอร์ยี่ห้อไมโครติคส์มีพื้นฐานการทำงานมาจากลินุกซ์จึงทำให้ยากต่อการสร้างกฎไฟร์วอลล์ ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไฟร์วอลล์บนเราเตอร์ไมโครติคส์ เพื่อให้ง่ายต่อการเพิ่ม ลบ แก้ไข และวางลำดับของกฎไฟร์วอลล์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

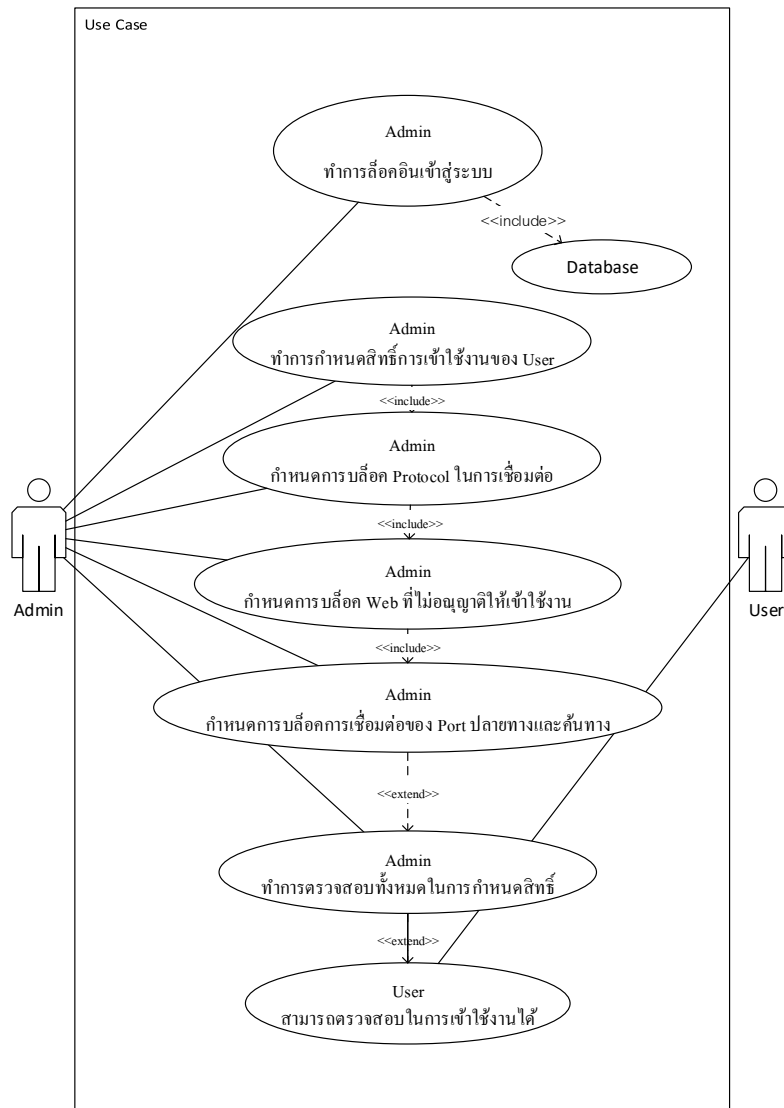
- 2.1. เพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติคส์ไฟร์วอลล์
- 2.2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติคส์ไฟร์วอลล์ที่พัฒนาขึ้น

3. การดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและวางขั้นตอนการดำเนินการในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ไว้ทั้งหมด 2 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบ

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบ และพัฒนาระบบการดำเนินงานของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ โดยแสดงภาพรวมไว้ในรูปที่ 1 และลำดับการทำงานของระบบไว้ในรูปที่ 2



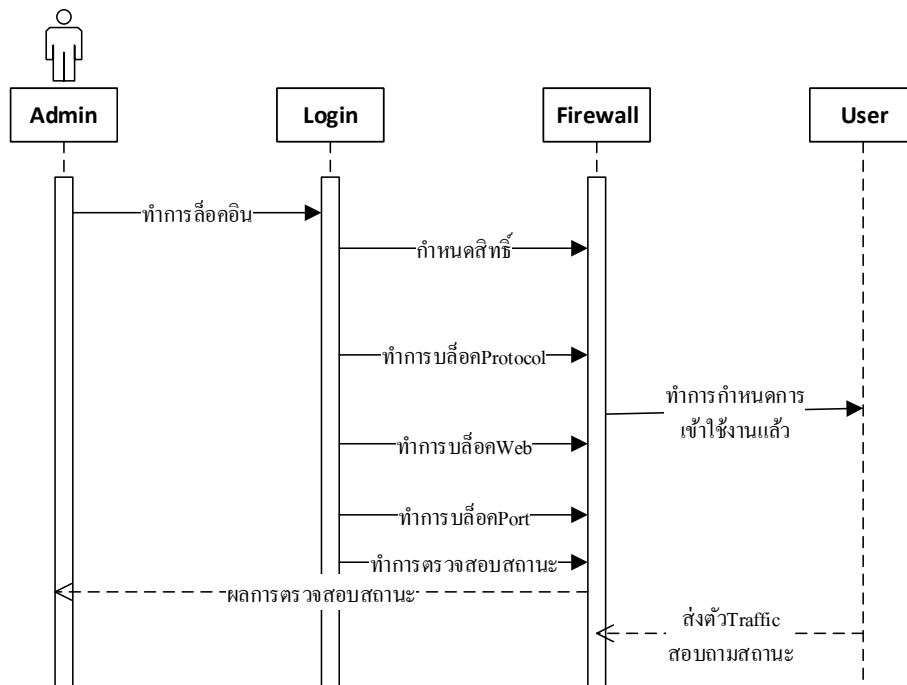
รูปที่ 1 Use Case Diagram เว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์

จากรูปที่ 1 เป็นรูปแสดงการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผู้ดูแลระบบ (Admin) มีความสามารถในการติดต่อกับระบบ ทำการกำหนดสิทธิ์การใช้งานของ User แล้วสามารถเขียนกฎไฟร์วอลล์เพื่ออนุญาต หรือปฏิเสธที่อยู่ต้นทาง ที่อยู่ปลายทาง โปรโตคอลต้นทาง โปรโตคอล

ปลายทาง พอร์ตต้นทาง พอร์ตปลายทาง และเว็บเพจ หรือแอปพลิเคชันที่ไม่อนุญาตให้ใช้งาน รวมทั้งสามารถทำการตรวจสอบสถานะของกฎไฟร์วอลล์ทั้งหมดได้

ส่วนที่ 2 ผู้ใช้งาน (User) จะส่งทราฟฟิคในการเข้าใช้งานเครือข่าย เข้ามาตรวจสอบกับกฎไฟร์วอลล์ และปฏิบัติตามการกระทำของกฎที่เขียนไว้



รูปที่ 2 แผนผังลำดับการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์

จากรูปที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ผู้ดูแลระบบล็อกอินเข้าสู่ระบบ แล้วเขียนกฎไฟร์วอลล์เพื่ออนุญาต หรือปฏิเสธที่อยู่ต้นทาง ที่อยู่ปลายทาง โปรโตคอลต้นทาง โปรโตคอลปลายทาง พอร์ตต้นทาง พอร์ตปลายทาง และเว็บเพจ หรือแอปพลิเคชันที่ไม่อนุญาตให้ใช้งาน จากนั้นไฟร์วอลล์จะปฏิบัติตามกฎไฟร์วอลล์ที่เขียนขึ้น เมื่อผู้ใช้งานเข้าใช้เครือข่ายและต้องการเข้าหรือออกเครือข่ายทั้งจากภายใน และภายนอกเครือข่าย ทราฟฟิคของผู้ใช้งานจะถูกส่งมาที่ไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ และพิจารณาตามลำดับของกฎไฟร์วอลล์ที่เขียนขึ้น

3.2 ขั้นตอนการทดสอบและประเมินระบบ

3.2.1 การทดสอบระบบ เพื่อทำการประเมินหาคุณภาพการทำงานของระบบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และตรงต่อความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้วิจัยใช้วิธีการจัดทำแบบประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยมีการแบ่งการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบออกเป็น 4 ด้าน คือ

3.2.1.1 ด้านความต้องการของระบบ (Functional Requirement Test)

3.2.1.2 ด้านความสามารถของระบบ (Functional Test)

3.2.1.3 ด้านความสะดวกการใช้งาน (Usability Test)

3.2.1.4 ด้านความปลอดภัยของระบบ (Security Test)

3.2.2 การประเมินระบบ ผู้วิจัยได้กำหนดผู้เชี่ยวชาญด้านเครือข่าย 5 คน ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบเจาะจง เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบ โดยผู้ทำการประเมินจะต้องทดลองใช้งานระบบเป็นเวลา 1 เดือน และทำแบบประเมินที่ได้ออกแบบไว้ด้วยเทคนิคเดลฟี่ โดยการให้คะแนนของแบบประเมินกำหนดไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนของแบบประเมิน

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ		ความหมาย
ตัวเลข	เชิงคุณภาพ	
5	ดีมาก	ระบบมีคุณภาพในระดับดีมาก
4	ดี	ระบบมีคุณภาพในระดับดี
3	ปานกลาง	ระบบมีคุณภาพในระดับปานกลาง
2	ต่ำ	ระบบมีคุณภาพในระดับต่ำ
1	ต่ำมาก	ระบบมีคุณภาพในระดับต่ำมาก

หลังจากได้ผลจากแบบประเมินแล้วผู้วิจัยใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการสรุปผลการทดสอบ โดยกำหนดสมการทางสถิติดังนี้

ค่าเฉลี่ย คือ ค่าเฉลี่ยของผลรวมของคะแนนทั้งหมด คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (1)$$

โดยที่ x หมายถึง ค่าเฉลี่ยของคะแนน

$\sum x$ หมายถึง ผลรวมของคะแนน

n หมายถึง จำนวนในกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยของผลรวมของคะแนนที่เบี่ยงเบนออกจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้นยกกำลังสอง คำนวณได้จากสมการที่ 2

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

โดยที่ S.D. หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum x$ หมายถึง ผลรวมของคะแนน

n หมายถึง จำนวนในกลุ่มตัวอย่าง

และใช้เกณฑ์วัดระดับประสิทธิภาพของระบบโดยการวัดจากค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ได้จากแบบประเมิน ซึ่งใช้เกณฑ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การวัดระดับประสิทธิภาพของระบบโดยใช้ค่าเฉลี่ย

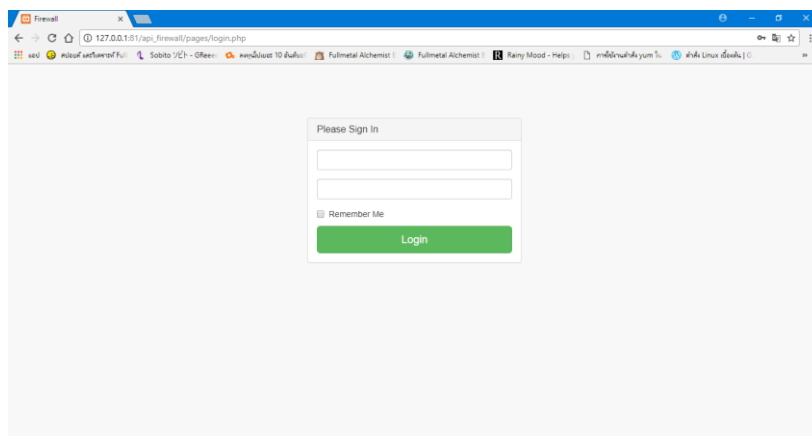
เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ		ความหมาย
ตัวเลข	เชิงคุณภาพ	
4.51 – 5.00	ดีมาก	ระบบที่พัฒนามีคุณภาพในระดับดีมาก
3.51 – 4.50	ดี	ระบบที่พัฒนามีคุณภาพในระดับดี
2.51 – 3.50	ปานกลาง	ระบบที่พัฒนามีคุณภาพในระดับปานกลาง
1.51 – 2.50	ต่ำ	ระบบที่พัฒนามีคุณภาพในระดับต่ำ
1.00 – 1.50	ต่ำมาก	ระบบที่พัฒนามีคุณภาพในระดับต่ำมาก หรือไม่มีประสิทธิภาพ

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการพัฒนาตามกระบวนการและขั้นตอนที่ออกแบบไว้ และดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ โดยแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

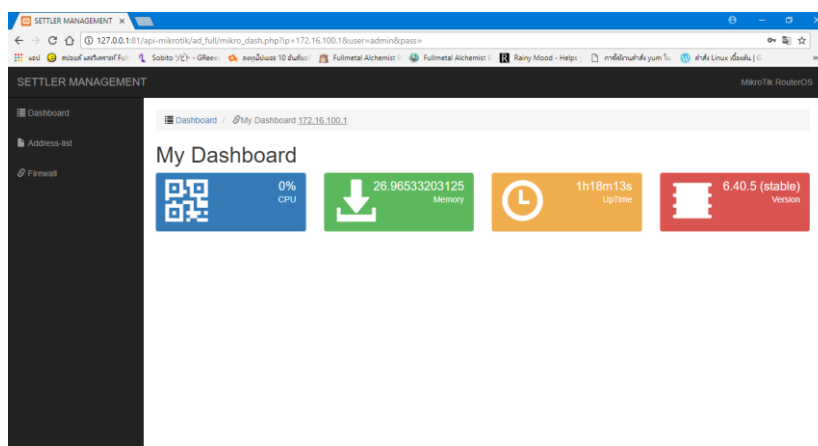
4.1 ผลการทดลอง

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาและการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ โดยเริ่มจาก หน้าจอการเข้าสู่ระบบ ซึ่งเป็นหน้าจอที่ผู้ดูแลทำการล็อกอินเข้าสู่ระบบสำหรับเข้าใช้งาน โดยผู้ดูแลระบบต้องกรอกชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่าน เพื่อให้ระบบทำการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าใช้งาน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หน้าจอการเข้าสู่ระบบ (Login)

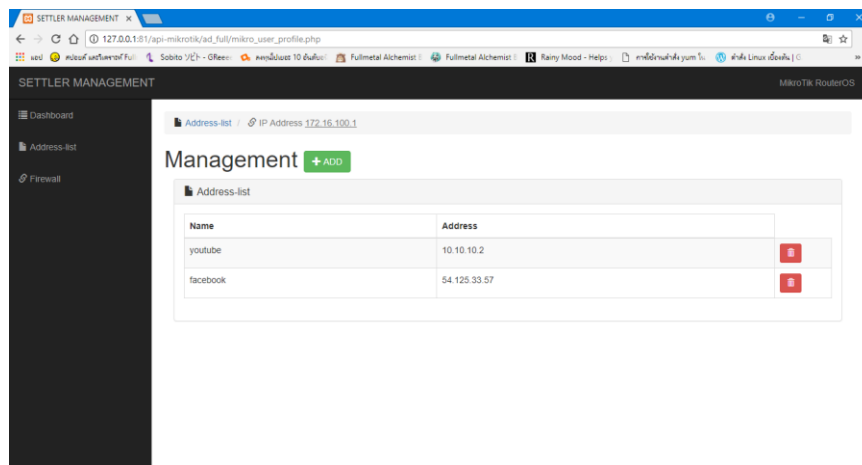
หลังจากล็อกอิน ระบบจะทำการพิสูจน์สิทธิ์ถ้าผ่านจะพบกับหน้าจอแผงควบคุมหลักเป็นหน้าแรก โดยจะแสดงข้อมูลของการใช้ซีพียู หน่วยความจำ เวลาที่เราเตอร์ไมโครติกส์ทำงาน และเวอร์ชันของระบบปฏิบัติการของเราเตอร์ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าจอแผงควบคุมหลัก (Dashboard)

ต่อมาทดสอบเพิ่มข้อมูลรายการที่อยู่ (Address-list) ซึ่งสามารถเพิ่มแบบรายการเดี่ยว หรือเป็นกลุ่มรายการก็ได้ โดยการตั้งชื่อให้เหมือนกัน แล้วนำมากำหนดเป็นที่อยู่ต้นทาง ที่อยู่ปลายทาง เพื่อนำมาใช้สร้างกฎไฟร์วอลล์ ดังรูปที่ 5

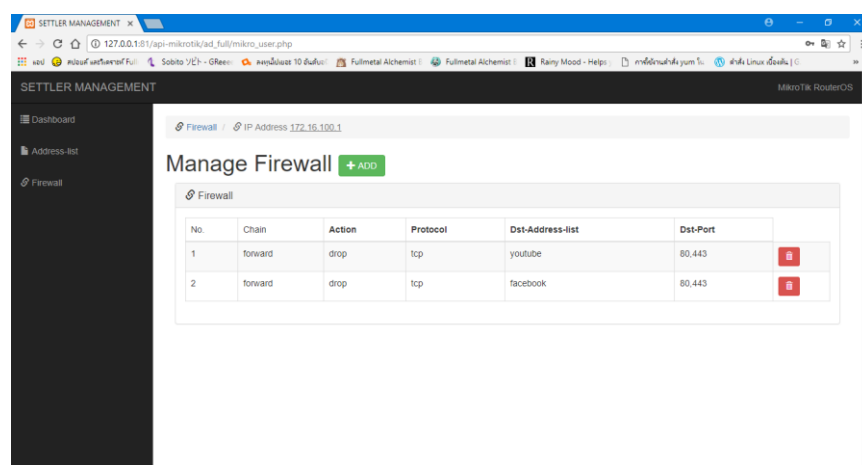
<http://jeet.siamtechu.net>



รูปที่ 5 หน้าจอการจัดการเพิ่ม Address-list

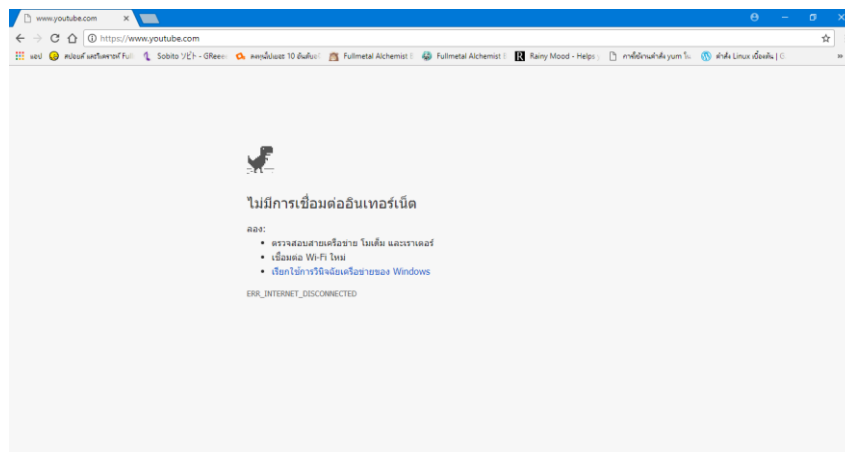
ต่อมาทดสอบสร้างกฎไฟร์วอลล์เพื่อใช้ในการจัดการ การเข้าออกเครือข่าย แสดงดังรูปที่ 6 โดยภายในกฎไฟร์วอลล์แต่ละรายการสามารถกำหนดได้ ดังนี้

1. Chain สามารถเลือกกำหนดได้ 1 ทิศทางจาก 3 ทิศทาง คำคือ Input, Forward, Output
2. Action สามารถเลือกกำหนดการกระทำได้ 1 การกระทำ คือ อนุญาต (Permit), หรือดรอป (Drop)
3. Protocol สามารถเลือกกำหนดได้ 1 ชนิดจาก 3 ชนิด คือ TCP, UDP, ICMP
4. Src-Address-List สำหรับกำหนดรายการที่อยู่ต้นทาง
5. Dst-Address-List สำหรับกำหนดรายการที่อยู่ปลายทาง
6. Src-Port สำหรับกำหนดพอร์ตต้นทาง
7. Dst-Port สำหรับกำหนดพอร์ตปลายทาง



รูปที่ 6 หน้าจอสร้างกฎไฟร์วอลล์

หลังจากสร้างกฎไฟร์วอลล์แล้ว ดำเนินการทดสอบความสามารถของกฎว่าสามารถปฏิบัติได้ตามที่กำหนดหรือไม่ เช่น การปฏิเสธการเข้าใช้เว็บไซต์ยูทูบ โดยพิจารณาจากรายการที่อยู่ปลายทาง (Dst-Address-List) ว่าเป็นที่อยู่ของเว็บไซต์ยูทูบ และใช้พอร์ตปลายทางหมายเลข 80 หรือไม่ ถ้าใช้ให้ดรอปทราฟฟิคทันที แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หน้าจอแสดงการปฏิเสธการเข้าใช้เว็บไซต์ยูทูป

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพจากทดสอบ

สำหรับงานวิจัยในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้นำเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ ไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเครือข่ายทดลองใช้งานและทดสอบระบบ แล้วทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากแบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้จัดเตรียมไว้ โดยมีผลการประเมินประสิทธิภาพในภาพรวมของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

หัวข้อการประเมิน	ความหมาย		
	ค่าเฉลี่ย $\bar{X}$	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (S.D.)	ความหมาย
1. ด้านความต้องการของระบบ	4.54	0.46	ดีมาก
2. ด้านความสามารถของระบบ	4.73	0.35	ดีมาก
3. ด้านความสะดวกการใช้งาน	4.60	0.00	ดีมาก
4. ด้านความปลอดภัยของระบบ	4.67	0.46	ดีมาก
รวม	4.64	0.32	ดีมาก

จากการประเมินคุณภาพของระบบที่ปรากฏในตารางที่ 3 โดยผู้เชี่ยวชาญด้านเครือข่าย ผลการประเมินที่ได้แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำคะแนนเฉลี่ยของแต่ละหัวข้อมาผ่านการคำนวณวิธีการทางสถิติเพื่อหาค่าเฉลี่ย (Mean) ในภาพรวม จะพบว่าค่าเฉลี่ยในภาพรวมที่ได้อยู่ที่ 4.64 (ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.32)

5. สรุป

ตามที่ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการและผลการทดลองในข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าเว็บแอปพลิเคชันสำหรับบริหารจัดการไมโครติกส์ไฟร์วอลล์ สามารถทำหน้าที่เป็นประตูกั้นขวางระหว่างเครือข่ายภายในกับเครือข่ายภายนอกองค์กร และตัดสินใจว่าจะอนุญาต หรือปฏิเสธทราฟฟิค ภายใต้กฎไฟร์วอลล์ที่สร้างขึ้นได้อย่างถูกต้อง โดยมีผลการประเมินประสิทธิภาพในภาพรวมจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านเครือข่ายอยู่ที่ 4.64 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.32 ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่วางไว้ แต่จากการดำเนินการวิจัยพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นยังไม่สามารถ

<http://jeet.siamtechu.net>

พิจารณากราฟฟิคในระดับเลเยอร์ 7 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการป้องกันในระดับเลเยอร์ 7 นั้นต้องสามารถระบุ Signature ของแอปพลิเคชันได้อย่างถูกต้อง ซึ่งผู้วิจัยจะดำเนินการแก้ไขและทดลองในการทำวิจัยครั้งต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก และหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Ricky, (2005). "Firewalls: Hardware vs. Software," March 25, 2005.
- [2] P. Ronald, (2011). "Firewall Debate: Hardware vs. Software," June 09, 2011.
- [3] ภควิศว์ ทองสาส์. (2554). "กรณีศึกษาการเปรียบเทียบไฟร์วอลล์" สารนิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [4] อนันต์ บัณฑุเดช และสุรศักดิ์ มั่งสิงห์. "การประเมินประสิทธิภาพการป้องกันภัยคุกคามด้วยฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และโอเพนซอร์สไฟร์วอลล์," สารนิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [5] สุชาติ คุ่มมะณี และจุรภรณ์ ตั้งมันดี. (2552). "การจัดการกฎของไฟร์วอลล์แบบกึ่งอัตโนมัติ," วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (Information Technology Journal) ปีที่ 5 ฉบับที่ 9 มกราคม-มิถุนายน 2552, หน้า 8-17.
- [6] สุชาติ คุ่มมะณี. (2554). "การเพิ่มสมรรถนะของไฟร์วอลล์ โดยการจัดเรียงกฎใหม่," วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (Information Technology Journal) ปีที่ 7 ฉบับที่ 13 มกราคม-มิถุนายน 2554, หน้า 24-32.
- [7] สิษฐ์ ล้วสมบูรณ์ และกายรัฐ เจริญราษฎร์. (2554). "ระบบจัดการป้องกันเครื่องแม่ข่ายจากการคุกคามทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต," รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ประเทศไทย. 30 – 31 พฤษภาคม 2554.

การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ละอองน้ำลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์

Improvement of Photovoltaic Cell Efficiency by Using Water Mist to Reduce Photovoltaic Cell Temperature

สิทธิพัฒน์ ภูทอง^{1*} วิชญ วิมานจันทร์² เฉลิมพล เมืองลือ³ ปรีดา จันทวงษ์⁴

Sittipat Pootong^{1*} Vichan Vimanjan² Chalermpon Muanglue³ Preeda Chantawong⁴

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงานภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

^{2,4} อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการทำความเย็นและการปรับอากาศภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

³ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

¹ E-mail: sittipat_pootong@hotmail.com

⁴ E-mail: cpreea@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปัจจัยด้านอุณหภูมิมีผลกระทบต่อที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 องศาเซลเซียส การผลิตไฟฟ้าจะลดลงประมาณ 0.5% งานวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยละอองน้ำ โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ Monocrystalline ขนาด 50 W จำนวน 2 แผง แบ่งเป็น 2 ชุด คือชุดเปรียบเทียบ(Control) และชุดทดลอง ติดตั้งที่มุมองศา 15 องศา โดยชุดทดลองจะมีการพ่นละอองน้ำที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดอุณหภูมิ ซึ่งทั้ง 2 ชุด ทำการทดลองอยู่ในสถานที่และ เวลาทดสอบเดียวกันวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งด้านหน้าและด้านหลังนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำ ในช่วงที่แสงอาทิตย์มีความเข้มสูง (มากกว่า 1000 W/m²) และต่อเนื่อง การพ่นละอองน้ำเฉพาะที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหน้าแผงของแผงได้ 19.9 °C และลดอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหลังได้ 24.9 °C และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 13.788% โดยใช้ปริมาณน้ำเพียง 11.914 ลิตร/ชั่วโมง

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์, การลดอุณหภูมิ, ละอองน้ำ

ABSTRACT

Temperature factor significantly affected on the electrical production of photovoltaic (PV) cell. Every one degree Celsius (°C) temperature rise corresponds to a drop in efficiency by 0.5%. The aim of this project is to reduce the operating temperature by using water mist to increase the efficiency of PV cell. The study setup consisted of two 50 Watt Monocrystalline PV cell, tilt of 15 degree with reference to the horizontal. One is the control, another is the

experiment that equipped with sprayer to spray water mist directly to the back surface of PV cell. The experiments were performed at the same time, same place. Electrical current, voltage, solar radiation, ambient temperature, relative humidity and both surfaces temperature of PV cell were recorded and compared. The results show that using water mist spray can reduce temperature 19.9 °C on front surface and 24.9 °C on back surface of PV cell. As a consequence, the electrical efficiency is increased by 13.788 % at the peak solar radiation condition (Solar intensity >1000 W/m²). Water consumption rate is only 11.914 L/h.

Keywords: Photovoltaic cell, Temperature reduction, Water mist

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกของเราใช้พลังงานจากฟอสซิลถึงร้อยละ 80 ซึ่งพลังงานจากฟอสซิลเป็นพลังงานใช้แล้วหมดไป ส่งผลให้โลกประสบปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงานมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากประชากรโลกที่มากขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้พลังงานเพื่อตอบสนองการดำรงชีวิตมากขึ้น และผลของการใช้พลังงานจากฟอสซิลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเชิงลบ ทำให้ต้องแสวงหาแหล่งพลังงานชนิดอื่นที่ยั่งยืนและก่อให้เกิดปัญหาน้อยลง มาทดแทนพลังงานจากฟอสซิล พลังงานธรรมชาติ เช่น พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งถูกนำมาใช้มากที่สุดพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่เป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีอยู่ทั่วไปและไม่มีวันหมด จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการใช้เป็นพลังงานทดแทน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสำคัญอย่างหนึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์คืออุณหภูมิ พบว่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 °C การผลิตไฟฟ้าจะลดลง 0.5% [1] ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาจำนวนมากในรูปแบบต่างๆกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Cooling System) นั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ [2] คือแบบ Passive cooling system เป็นระบบที่ไม่ใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิ และแบบ Active cooling system เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานในการลดอุณหภูมิ

ในปี 2009 Odeh และ Behnia [3] ได้ทำการทดลองโดยปล่อยน้ำไหลเป็นฟิล์มบางๆ ด้านหน้าแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ปี 2003 Moharram และคณะ [4] ได้ทำการทดลองใน Power plant ขนาด 14 kW ในอียิปต์ พ่นน้ำแบบ Sprinkle ด้านหน้าแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ และในปี 2016 NizetiĆ และคณะ [5] ทำการทดลองพ่นน้ำแบบ Water sprinkle ทั้งด้านหน้าและด้านหลังแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสามารถเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ยังไม่มีการวิจัยที่ลดอุณหภูมิด้วยการพ่นละอองน้ำ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

3. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) มีขั้นตอนการวิจัย ดังนี้

3.1 ออกแบบโครงสร้างของฐาน และสร้างชุดทดลองเพื่อเก็บข้อมูลโดยใช้โครงเหล็กรองรับแผงโซลาร์เซลล์ Monocrystalline ขนาด 50 W จำนวน 2 แผง ในการทดลอง ใช้มุมการติดตั้งที่ 15 องศาับแนวราบ แต่ละแผงติดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ด้านหน้า และด้านหลัง ต่อแผงโซลาร์เซลล์ เข้ากับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิ (Wisco Data Logger AI210) เชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงอาทิตย์ เข้าเครื่องบันทึกข้อมูล (M-log Mini Data Logger)

3.2 ออกแบบและสร้างชุดพ่นละอองน้ำติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมที่ด้านหลังแผงโซลาเซลล์แผงที่ 2 โดยติดเครื่องพ่นไอน้ำ จำนวน 15 หัวที่ด้านหลังของแผง และติดตั้งตู้ที่ด้านข้างของโครง เพื่อป้องกันไม่ให้อิหร่านกระจายออกไปรบกวนแผงโซลา เซลล์ แผ่นอื่น และวางแผงโซลาเซลล์ ทั้ง 2 ในที่โล่ง หันหน้าไปทางทิศใต้เพื่อรับแสง และวางแผงอยู่ในแนวม

3.3 ติดตั้งและทดสอบการทำงานของระบบเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของแผงโซลาเซลล์ก่อนการทดลอง เพื่อเก็บข้อมูล และทดสอบระบบพ่นละอองน้ำด้านหลังแผงโซลาเซลล์ และติดตั้งเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิของแผ่นโซลาเซลล์ ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง พร้อมทดสอบการเก็บข้อมูล

3.4 เก็บข้อมูลวิจัยและบันทึกผล โดยจะบันทึกกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสงอาทิตย์ ที่ส่องผ่านชุดการทดลอง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณวิจัย

3.5 วิเคราะห์ผลข้อมูลการทดลอง การวิเคราะห์ผลจะเป็นการวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตกำลังไฟฟ้าประสิทธิภาพของแต่ละแผงการทดลองที่ต่างกัน สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลคือค่าร้อยละ (%) ค่าเฉลี่ย (mean) แปลผลโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลสองกลุ่ม แล้วนำเสนอเป็นตารางและกราฟ

3.5.1 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หาได้จากสมการ

$$\eta_A = (E_A / H_i A_A) * 100\%$$

η_A คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

H_i คือ ค่าพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2)

3.5.2 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นหาได้จากสมการ

$$\eta_i = \{(\eta_2 - \eta_1) / \eta_1\} * 100\%$$

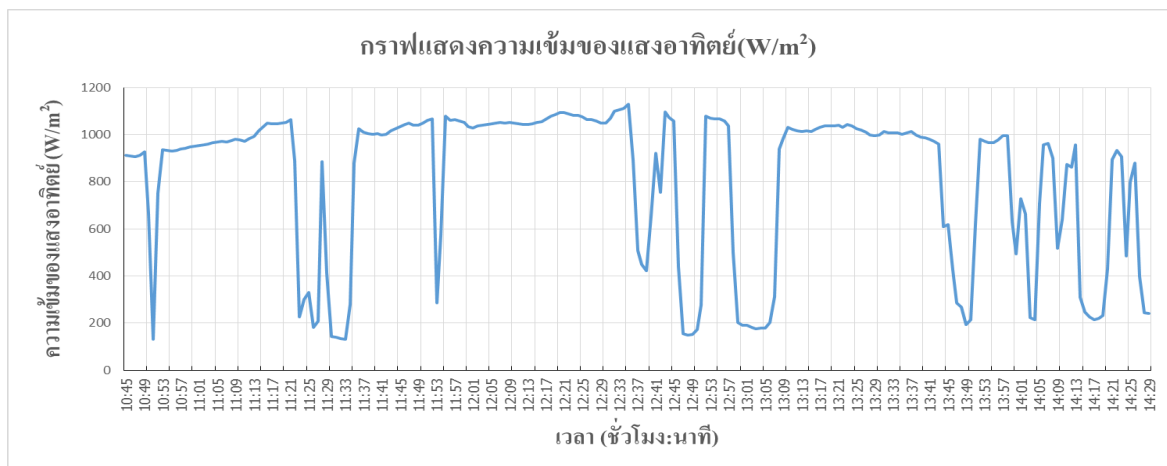
η_i คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น (%)

η_2 คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังทดลอง

η_1 คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนทดลอง

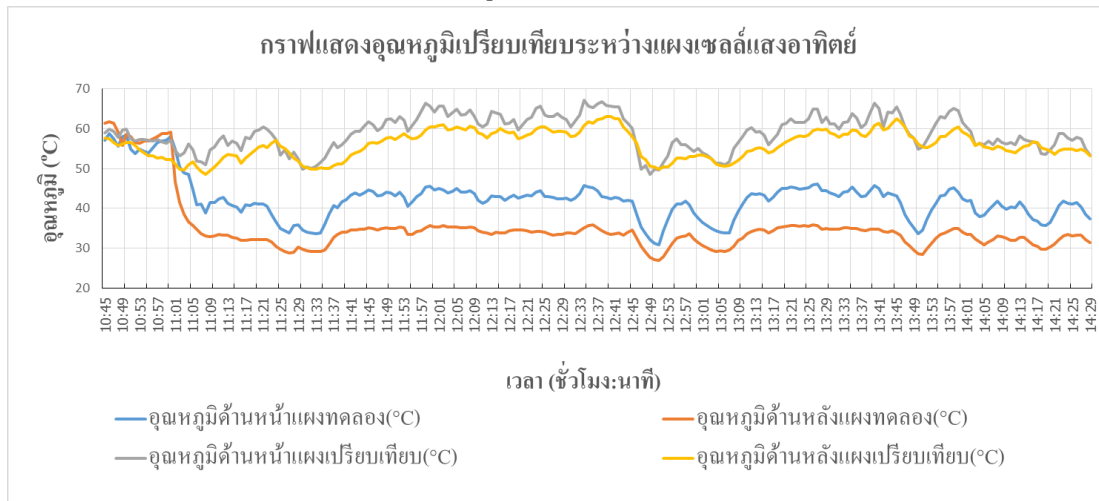
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในวันที่ทำการทดลองพบว่าสภาพอากาศทั่วไปค่อนข้างร้อนอุณหภูมิเฉลี่ย 37.5 องศาเซลเซียสความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 41.8%



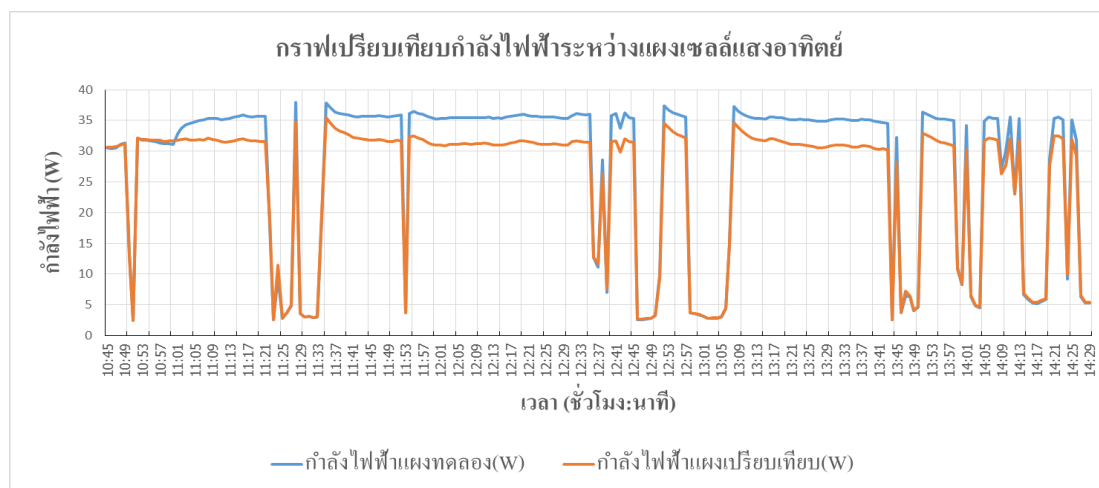
รูปที่ 1 กราฟแสดงความเข้มของแสงอาทิตย์

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลงในบางช่วงเวลาเนื่องจากมีเมฆบัง ซึ่งเป็นปัจจัยที่รบกวนผลการทดลอง ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงตามรูปที่ 3



รูปที่ 2 กราฟแสดงอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำติดตั้งชุดพ่นละอองน้ำที่ด้านหลังแผง กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งชุดพ่นละอองน้ำ

เมื่อเริ่มต้นทำการทดลอง ได้มีการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผงที่ติดตั้งในสภาพอากาศ และมุมมองเดียวกันทั้ง 2 แผง โดยในการทดสอบได้ติดตั้งแผงที่มุมการติดตั้ง 15 องศาจากพื้นระนาบ และหันแผงไปทางทิศใต้ (Run-in Period) 15 นาที พบว่า เมื่อเริ่มพ่นละอองน้ำ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงอย่างรวดเร็วดังรูปที่ 2 โดยสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหน้าแผงของแผงได้ 15 องศาเซลเซียสและลดอุณหภูมิเฉลี่ยด้านหลังได้ 25.2 องศาเซลเซียส ในช่วงทดลอง (Experimental Period)



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พ่นละอองน้ำที่ด้านหลังแผง กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำ

จากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อพ่นละอองน้ำและอุณหภูมิแผงลดลงตามรูปที่ 2 กำลังไฟฟ้าของแผงที่พ่นละอองน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าแผงที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำอย่างชัดเจนโดยในช่วงทดลอง (Experimental Period) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พ่นละอองน้ำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 27.719 วัตต์ ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 24.985 วัตต์ และพบว่ามีค่าสูงขึ้นและต่างกันมากขึ้นในช่วงทดลองที่ความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดโดยให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 35.620 วัตต์ ส่วน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 31.305วัตต์ เมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สมการ

$$\eta_A = E_A / H_i A_A$$

η_A คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kwh)

H_i คือ ค่าพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m²)

เปรียบเทียบระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พ่นละอองน้ำกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำพบว่าในช่วงทดลอง (Experimental Period) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พ่นละอองน้ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำ 8.151% แต่ใช้ข้อมูลในช่วงทดลองที่ความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak Radiation Condition, Solar Intensity > 1000 W/m²) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พ่นละอองน้ำมีประสิทธิภาพดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้พ่นละอองน้ำมากถึง 13.788% และพบว่าในช่วงเวลาดังกล่าวการพ่นละอองน้ำเฉพาะที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถลดอุณหภูมิด้านหลังแผงของแผงได้ 19.9 °C และลดอุณหภูมิด้านหลังได้ 24.9 °C โดยใช้ปริมาณน้ำเพียง 11.914 L/h ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยตัวแปร (Mean)	ภาพรวมทั้งหมด		ช่วงตรวจสอบ (Run-in)		ช่วงทดลอง (Experiment)		* ช่วงทดลองที่ ความเข้ม แสงอาทิตย์สูงสุด	
	พ่นน้ำ	ไม่พ่นน้ำ	พ่นน้ำ	ไม่พ่นน้ำ	พ่นน้ำ	ไม่พ่นน้ำ	พ่นน้ำ	ไม่พ่นน้ำ
อุณหภูมิผิวด้านหน้า (°C)	42.3	58.9	56.3	57.8	41.3	59.0	43.4	63.3
อุณหภูมิผิวด้านหลัง (°C)	35.0	56.0	58.4	54.9	33.2	56.1	34.5	59.4
แรงดันไฟฟ้า (V)	15.693	14.962	16.302	16.266	15.646	14.863	18.642	17.408
กระแสไฟฟ้า (A)	1.607	1.545	1.671	1.681	1.602	1.534	1.911	1.798
กำลังไฟฟ้า (W)	27.763	25.234	28.339	28.482	27.719	24.985	35.620	31.305
ประสิทธิภาพ (%)	11.211	10.350	11.289	11.334	11.206	10.275	11.669	10.256
ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (%)	7.552		-0.045		8.151		13.788	
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	41.8		50.6		41.2		40.6	
อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (°C)	37.5		34.3		37.7		37.8	
ความเข้มของแสงอาทิตย์ (W/m ²)	817.53		851.56		814.93		1063.9	

* Peak Radiation Condition (Solar Intensity > 1000 W/m²)

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลผลการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

งานวิจัย	วิธีการลดอุณหภูมิ	พลังงานไฟฟ้าผลิตสูงสุด (W)	ผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น(%)	อัตราการใช้น้ำ (L/h)	อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ (°C)	อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (°C)	อุณหภูมิน้ำที่ใช้ทดลอง (°C)
Nižetić et al., 2016	ไม่พ่นน้ำ	35	—		56	27–28	-
	Sprinkle ด้านหลัง	39.9	14.0	144+	33.7	27–28	17
	Sprinkle ด้านหน้า	40.1	14.6	144+	29.6	27–28	17
	Sprinkle ทั้ง ด้าน 2	40.7	16.3	225	24.1	27–28	17
Saad Odeh, 2009	ปล่อยน้ำไหลเป็นฟิล์มบาง ๆ ด้านหน้า		15	240			
Moharram et al., 2013	Sprinkle ด้านหน้า		12.5				
งานวิจัยนี้	พ่นละอองน้ำด้านหลัง	35.620	13.788	11.9	34.5	37.5	33

6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

ในปี 2009 Odeh และ Behnia [3] ได้ทำการทดลองปล่อยน้ำไหลเป็นฟิล์มบาง ๆ ด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดอุณหภูมิ โดยใช้น้ำมากถึง 240 ลิตร/ชั่วโมง พบว่าสามารถเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 15% ที่ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด(Peak Radiation Condition, Solar Intensity 1000 W/m²) ในปี 2013 Moharram และคณะ[4]ได้ทำการทดลองพ่นน้ำแบบ Water Sprinkle ด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12.5% และปี 2016 Nižetić และคณะ [5] ได้ทำการทดลองพ่นน้ำแบบ Water Sprinkle ทั้งด้านหน้าและด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสามารถลดอุณหภูมิของแผงได้ 32 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิของน้ำที่ใช้พ่นทดลองอยู่ที่ประมาณ 17 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 16.3% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 14.1% แต่ต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมากถึง 255 ลิตรต่อชั่วโมง จะเห็นว่าการพ่นน้ำเพื่อลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิได้ดี แต่ปริมาณของน้ำที่ใช้ค่อนข้างสูงมาก ส่วนการวิจัยครั้งนี้พ่นละอองน้ำเฉพาะที่ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถลดอุณหภูมิด้านหลังแผงของแผงได้ 19.9 องศาเซลเซียสและลดอุณหภูมิด้านหลังได้ 24.9 องศาเซลเซียส สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 13.788% ที่ความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด(Peak Radiation Condition, Solar Intensity >1000 W/m²) โดยใช้ปริมาณน้ำเพียง 11.914 ลิตรต่อชั่วโมง ภายใต้สภาพอากาศที่ร้อนกว่าและอุณหภูมิของน้ำที่ใช้พ่นสูงกว่า ดังตารางที่ 2 ดังนั้นการใช้ละอองน้ำพ่นที่ด้านหลัง

ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงน่าจะเป็นวิธีที่ดีและสามารถนำไปศึกษาเพิ่มเติมและนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในอนาคต

7. ข้อเสนอแนะ

การต่อยอดงานวิจัย จากการทบทวนงานวิจัยในการวิจัยครั้งนี้พบว่า ยังไม่เคยมีใครลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการพ่นละอองน้ำไม่ว่าจะเป็นด้านหน้าหรือด้านหลัง แต่ผู้วิจัยเลือกทำด้านหลังเนื่องจากเกรงผลกระทบจาก Shadow Effect หรืออาจมีฝุ่นละอองไปเกาะแผงเซลล์แสงอาทิตย์หากพ่นละอองน้ำด้านหน้า ส่วนการจัดหาหัวพ่นละอองน้ำ การจัดหาปั้มน้ำขนาดเล็ก ราคาไม่แพง สามารถหาจากท้องตลาดที่มีการใช้ทั่วไป เพื่อความสะดวกในการนำไปประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติให้มากที่สุด พบว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของปั้มน้ำเท่ากับ 55 วัตต์ ซึ่งไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Nižetić และคณะได้ เนื่องจาก Nižetić และคณะได้ใช้แหล่งน้ำจากระบบ Pipeline ไม่ได้ใช้พลังงานจากปั้มน้ำ แต่ใช้วิธีคำนวณจากการสูญเสียพลังงานจากระบบของแหล่งน้ำมาเป็นพลังงานที่เทียบเท่า ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถนำไปต่อยอดในประเด็นต่างๆ ได้ ดังนี้

7.1 การหาค่าหัวฉีดพ่นละอองน้ำที่เหมาะสมที่สามารถลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีที่สุดหรือคุ้มค่าที่สุด เช่น การกำหนดตำแหน่งหัวฉีด การกำหนดจำนวนหัวฉีด ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ และสามารถนำไปคำนวณความคุ้มค่าเมื่อนำไปพิจารณาพร้อมกับชนิดปั้มน้ำที่เหมาะสมหรือประเภทแหล่งจ่ายน้ำ

7.2 เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ละอองน้ำ ดังนั้นการนำลมมาช่วยระบายความร้อนร่วม อาจทำให้ได้ผลดีขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Radziemska E. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. *Renewable Energy*. 2003;28(1):1-12.
- [2] Hasanuzzaman M, Malek ABMA, Islam MM, Pandey AK, Rahim NA. Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review. *Solar Energy*. 2016; 137:25-45.
- [3] Saad Odeh MB. Improving photovoltaic module efficiency using water cooling. *Heat Transfer Engineering*. 2009;30(6):499-505.
- [4] Moharram KA, Abd-Elhady MS, Kandil HA, El-Sherif H. Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling. *Ain Shams Engineering Journal*. 2013;4(4):869-77.
- [5] Nižetić S, Čoko D, Yadav A, Grubišić-Čabo F. Water spray cooling technique applied on a photovoltaic panel: The performance response. *Energy Conversion and Management*. 2016; 108: 287-96.

กระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อใช้ในงานด้านความมั่นคง ภัยพิบัติและพื้นที่ห่างไกล

Energy Harvesting Backpack for Applications in Security, Disaster and Remote Areas

ฐกฤต ปานขลิบ^{1*} จุไรรัตน์ ดวงเดือน² ชุกฤต อองคานนท์³

Thakrit Panklib^{1*} Jurairat Duangduan² Chukrit Aongkanon³

^{1,2,3} คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

* E-mail : thakritp@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาต้นแบบกระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานเพื่อความมั่นคง ภัยพิบัติ และพื้นที่ห่างไกล ในตัวกระเป๋าสะพายประกอบด้วยอุปกรณ์หลักห้าส่วน ได้แก่ ระบบสะสมพลังงาน ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (GPS) ระบบเก็บเกี่ยวพลังงาน ระบบควบคุมการเก็บเกี่ยวพลังงาน และระบบกันกระสุน (สำหรับส่วนของงานเพื่อความมั่นคง) โดยในส่วนของระบบเก็บเกี่ยวพลังงานสามารถแยกออกเป็นระบบพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 10W ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลัก และระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวขนาด 200 mW ซึ่งเป็นส่วนเสริมในสถานการณ์ที่ไม่มีแสงสว่างหรืออยู่ในพื้นที่ปิด แต่จะเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน ตัวกระเป๋าสะพายได้ออกแบบโดยอาศัยหลักการทางกายศาสตร์ให้มีการถ่ายเทน้ำหนักลงแผ่นหลังเพื่อลดอาการเมื่อยล้า นอกจากนี้ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานและระบบสะสมพลังงานจะช่วยให้ผู้ใช้งานลดขนาดของแบตเตอรี่สำรองที่จะใช้ในการปฏิบัติงานได้ และในขณะเดียวกันระหว่างการเดินเพื่อสำรวจหรือลาดตระเวน วัสดุเพียโซอิเล็กทริกจะทำหน้าที่เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว ทั้งนี้การเคลื่อนไหวอาจให้พลังงานที่ไม่เสถียรงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุซึ่งเป็นระบบสะสมพลังงานที่สามารถเก็บพลังงานได้อย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มเสถียรภาพทางพลังงานของระบบ ทั้งนี้เมื่อมีการใช้งานเฉพาะวิทยุสื่อสารอย่างต่อเนื่องด้วยกำลังส่ง 2 W สามารถใช้งานได้ 26 ชม. 6 นาที และเมื่อใช้งานวิทยุสื่อสารเพื่อรับข่าวสาร สามารถใช้งานได้ 52 ชม. 18 นาที

คำสำคัญ: ระบบสะสมพลังงานแบบพกพา, การเก็บเกี่ยวพลังงาน, พลังงานจากการเคลื่อนไหว

ABSTRACT

This research aims to develop a prototype of energy harvesting backpack for applications in security, disaster and remote areas. In the backpack, it will compose of five devices as electrical energy storage, global positioning system (GPS), energy harvesting systems, energy management processing unit, and bulletproof system (for security). The energy harvesting system composes of solar panel 10W power as the main power source, and piezoelectric generator 200mW capacity as optional power generating device in case of no light source or in the forest which produce electricity from the user's movement instead. The backpack was designed base on ergonomics and back support to reduce fatigues. Besides, the energy harvest devices were able to reduce the battery's weight without effect on operation periods. In addition, as a soldier usually walks for a long distance during patrol, the use

of piezoelectric generator is effectively suitable. However, the energy harvesting from motion is not steady so, the high charging rate energy storage such as capacitor has been used for energy stabilizing. On the experiment, energy harvest backpack can power the radio with 2W transmission power up to 26 hours and standby up to 52 hours.

Keywords: Portable Energy Storage System, Energy Harvesting, Motion Energy

1. บทนำ

การสนับสนุนเทคโนโลยีระบบสะสมพลังงานเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญ โดยมุ่งเน้นไปที่การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ซึ่งในมุมมองด้านความมั่นคงของประเทศ พลังงานถือเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของความมั่นคง ทั้งในระดับบริหาร และระดับปฏิบัติการ ซึ่งเจ้าหน้าที่ความมั่นคงของประเทศเมื่อได้รับการฝึกให้ออกปฏิบัติหน้าที่ โดยอาจเป็นการลาดตระเวน ทำการข่าว หรือสำรวจในพื้นที่ทุรกันดาร ป่า หรือภูเขา ทำให้ไม่สามารถหาแหล่งจ่ายไฟเพื่อประจุพลังงานให้อุปกรณ์ได้ ระบบสะสมพลังงานจึงมีความจำเป็นต่อการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่งานซึ่งเสี่ยงต่อการขาดการติดต่อ หรือถูกลักลอบนอกอาณาเขตของประเทศได้ ทั้งนี้ระบบสะสมพลังงานที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะอยู่บนขีดจำกัดด้านน้ำหนัก เนื่องจากน้ำหนักที่มากจะส่งผลกระทบต่อความคล่องตัวในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ได้

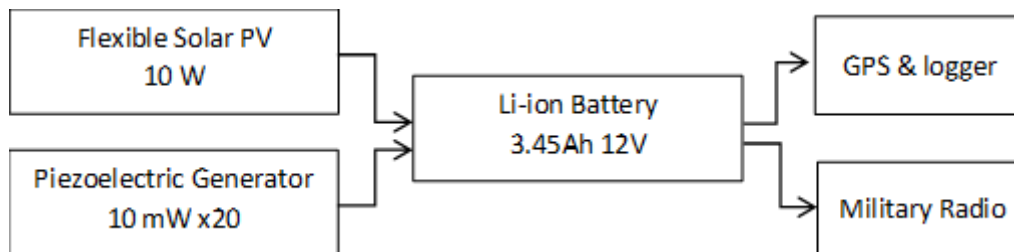
จากงานวิจัยเชิงผลิตภัณฑ์ในต่างประเทศทั่วโลกได้มีรายงานวิจัยและสิทธิบัตรเกี่ยวกับกระเป๋าสะพายเพื่อใช้ในการทหารหรืองานด้านภัยพิบัติสูงถึง 5,074 ผลงาน โดยประกอบด้วยผลการจดทะเบียนด้านการออกแบบ วัสดุ รวมถึงตำแหน่งในการติดตั้งระบบกันกระสุน ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะอ้างสิทธิถึงการใช้งานที่สะดวกสบาย และการออกแบบตามหลักการยศาสตร์ซึ่งสามารถถ่ายเทน้ำหนักจากแผ่นหลังไปสู่สะโพกได้ ทำให้สามารถแบกรับน้ำหนักโดยไม่เกิดความเมื่อยล้าได้ง่าย และเมื่อสืบค้นโดยจำกัดไปที่กระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงาน พบสิทธิบัตรเพียง 226 ผลงานเท่านั้น โดยผลงานส่วนใหญ่จะอยู่ในมุมมองเพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวในกิจกรรมต่าง ๆ ระหว่างการปฏิบัติการซึ่งกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวบ่อยในระหว่างการปฏิบัติงานได้แก่ การเดิน และการวิ่ง ตลอดจนเป็นการเปลี่ยนพลังงานทางกลส่วนหนึ่งของการสั่นสะเทือนไปเป็นพลังงานเพื่อลดอาการเมื่อยล้าของช่วงไหล่ [1, 2]

เมื่อทำการศึกษากับการเดินและหลักการยศาสตร์การเดินของมนุษย์ พบว่าพลังงานที่ใช้ในการเดินของมนุษย์จะแปรผันตรงกับการเคลื่อนที่ขึ้นและอัตราเร่งของจุดศูนย์กลางมวล [3] โดยเมื่อทำการพิจารณาถึงความถี่การก้าวที่เสียพลังงานน้อยที่สุดจะอยู่ในช่วง 2.6-2.8 Hz [4] ซึ่งเป็นความถี่ซึ่งมนุษย์ใช้ในการเดินเร็วหรือวิ่ง (ไม่เกิน 13 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) โดยเป็นพฤติกรรมซ้ำ ๆ ซึ่งมีความสอดคล้องกับทหารลาดตระเวนหรือหน่วยค้นหา ดังนั้นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวจึงเป็นทางเลือกสำคัญ เพื่อที่จะลดน้ำหนักของระบบสะสมพลังงานและสามารถผลิตพลังงานเพิ่มขึ้นระหว่างปฏิบัติงานได้

ต้นแบบกระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานที่นำเสนอจะช่วยลดน้ำหนักของการแบกรับแบตเตอรี่สำรองเมื่อทหารต้องออกพื้นที่ปฏิบัติการเป็นเวลานาน ด้วยน้ำหนักที่ลดลงจะทำให้ผู้ใช้งานมีความล่าช้าจากการแบกของหนักน้อยลง ในทางปฏิบัติทหารจะต้องเดินด้วยระยะทางไกล ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียโซอิเล็กทริกจะทำให้สามารถเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเดินเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตามการเก็บเกี่ยวพลังงานการเคลื่อนไหวนั้นมีความไม่สม่ำเสมอของพลังงาน การใช้ระบบสะสมพลังงานที่มีความสามารถในการเก็บพลังงานได้อย่างรวดเร็ว เช่น ตัวเก็บประจุยิ่งยวด นอกจากจะสามารถรักษาเสถียรภาพของพลังงานแล้วยังเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นโครงการนี้จึงใช้วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรม เสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้กับผู้ปฏิบัติงานด้านความมั่นคง และผู้ต้องปฏิบัติงานในพื้นที่ห่างไกลจากการเข้าถึงกระแสไฟฟ้า รวมถึงเตรียมระบบเก็บเกี่ยวพลังงานและระบบกักเก็บพลังงานแบบพกพา ไว้สำหรับช่วยเหลือประชาชนยามประสบภัยพิบัติ

2. การดำเนินการวิจัย

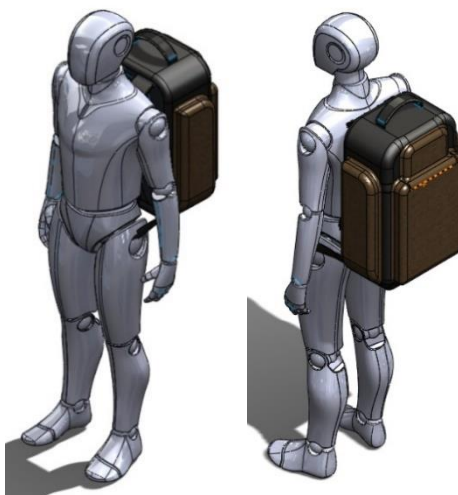
งานวิจัยนี้จะสามารถมองระบบในภาพรวมได้ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงมุมมองด้านพลังงานซึ่งระบบสะสมพลังงานเป็นศูนย์กลาง โดยมีภาคการผลิตพลังงานและภาคการใช้พลังงานที่มีการเชื่อมโยงดังทิศทางของลูกศร



รูปที่ 1 ส่วนต่าง ๆ และทิศทางของพลังงานในกระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงาน

2.1 การออกแบบกระเป๋าสะพาย

กระเป๋าสะพายสำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบใน 2 รูปแบบ ได้แก่ กระเป๋าสะพายเพื่อใช้ในงานความมั่นคง และกระเป๋าสะพายเพื่องานภัยพิบัติ ซึ่งกระเป๋าสะพายทั้งสองรูปแบบ จะมุ่งเน้นไปที่ระบบสะสมพลังงานและระบบเก็บเกี่ยวพลังงานภายใน ตลอดจนการสวมใส่ในการปฏิบัติหน้าที่อย่างสะดวกสบาย ดังนั้นการออกแบบจึงอ้างอิงจากการยศาสตร์ (ergonomic) เพื่อให้มีการถ่ายเทน้ำหนักลงแผ่นหลังอย่างเหมาะสม ซึ่งการออกแบบนี้จะอ้างอิงกับผู้ชายไทยความสูงในช่วง 165-185 เซนติเมตร ซึ่งจะมีพื้นที่แผ่นหลังไม่เกิน 30x45 เซนติเมตร ดังนั้นการออกแบบกระเป๋าสะพายจะเน้นให้มีน้ำหนักบรรจุอยู่ใกล้แผ่นหลังมากที่สุดและถ่ายเทน้ำหนักลงสู่สะโพก



รูปที่ 2 กระเป๋าสะพายด้านความมั่นคงในมุมมองไอโซเมตริก

2.2 ระบบสะสมพลังงาน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกแบตเตอรี่ตระกูลลิเทียม (Lithium-based battery) เพื่อใช้ในการสำรองพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากมีอัตราการคายประจุ (Self-Discharge) ที่ต่ำ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง สามารถ จ่ายกระแสได้สูง และไม่ต้องต้องการการบำรุงรักษาที่มากนัก ซึ่งถือว่ามีความเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับอุปกรณ์สวมใส่ทั่วไป และโดยเฉพาะการใช้งานควบคู่กับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งต้องมีการรับการประจุบ่อยครั้ง และเมื่อทำการออกแบบระดับแดงต้นใช้งาน

จากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของวิทยาลัยสื่อสาร สามารถทำการออกแบบระบบสะสมพลังงานได้โดยให้แรงดันเท่ากับ 12 VDC โดยเลือกใช้ระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนความจุ 3.45Ah ซึ่งเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ของวิทยาลัยสื่อสารเดิมที่ 4Ah จะสามารถเพิ่มระยะเวลาปฏิบัติการได้เป็น 26 ชั่วโมง เมื่อทำการรองรับสัญญาณที่กำลังส่ง 2W ซึ่งแบตเตอรี่ที่ถูกเลือกเป็นระบบสะสมพลังงานจะไม่ถูกพิจารณาให้มีน้ำหนักที่มากจนเกินไป โดยมีน้ำหนักเพียง 250 กรัม เนื่องจากกระเป๋าสะพายจะทำการติดตั้งระบบเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งจะช่วยยืดระยะเวลาในการปฏิบัติการได้มากขึ้น

2.3 ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นระบบที่ทำหน้าที่ผลิตพลังงานป้อนเติมให้กับระบบสะสมพลังงาน เนื่องจากระบบสะสมพลังงานโดยลำพังไม่สามารถเพิ่มระยะเวลาในการปฏิบัติหน้าที่ได้มากนักเมื่อเทียบกับน้ำหนักของระบบสะสมพลังงานที่ผู้ใช้งานจะต้องแบกรับ ทั้งนี้ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์จะต้องมีการติดตั้งอยู่ภายนอกกระเป๋าสะพาย ทำให้สีและพื้นผิวจึงเป็นส่วนสำคัญต่อการปฏิบัติหน้าที่โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปฏิบัติหน้าที่ในด้านความมั่นคง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเลือกใช้เป็นประเภทให้ตัวได้ (flexible solar cell) เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่มีการเคลื่อนไหวโดยมีกำลังผลิตที่ 10W ซึ่งขนาดจะไม่ใหญ่จนเป็นภาระ

วัสดุเคลือบแผงได้ถูกออกแบบเพื่อป้องกันการขูดขีดได้ง่ายซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะต้องมีศักยภาพการส่องผ่านของแสงอยู่ในระดับที่สูง และนอกจากนี้จะต้องต้านทานความชื้นซึ่งอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ด้วย วัสดุ Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) เป็นวัสดุประเภทโพลีเมอร์ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบแผง เนื่องจากสามารถให้แสงผ่านได้ถึง 85% โดยเป็นช่วงแสงที่มองเห็น (visible light) ในช่วงความยาวคลื่น 380-780nm และสามารถให้แสงผ่านได้ถึง 88% ในช่วงความยาวคลื่นเหนือม่วง (ultraviolet) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ติดไฟได้ยากจึงเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานเพื่อภัยพิบัติ ซึ่งอาจต้องผ่านพื้นที่ซึ่งเกิดไฟไหม้อีกด้วย

2.4 ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว

แม้ว่าระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ของระบบ แต่เนื่องจากการปฏิบัติการกิจอาจถูกจำกัดด้วยพื้นที่และช่วงเวลาซึ่งอาจไม่มีแสงอาทิตย์ ทำให้การใช้แหล่งพลังงานทางเลือกอื่นจึงมีความสำคัญ ซึ่งระบบเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งมีน้ำหนักเบาและสามารถทำการเก็บเกี่ยวพลังงานได้ระหว่างปฏิบัติหน้าที่จะได้แก่การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว โดยมีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

2.4.1 การตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์

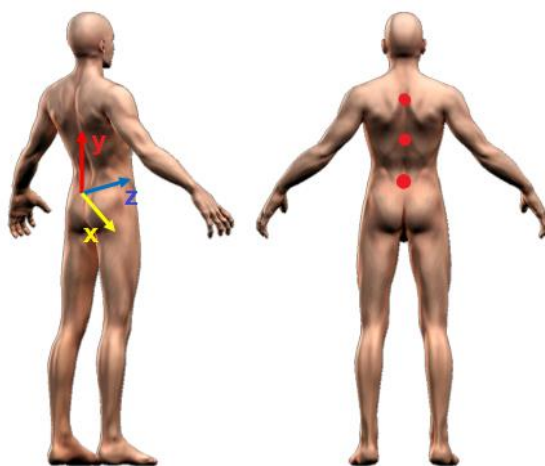
ด้วยวัตถุประสงค์ของการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวในกิจกรรมต่าง ๆ ระหว่างการปฏิบัติการกิจ ซึ่งกิจกรรมที่มีการเคลื่อนไหวบ่อยในระหว่างการปฏิบัติงานได้แก่ การเดิน และการวิ่ง ดังนั้นการตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์เพื่อหาตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบ

การตรวจวัดการเคลื่อนไหวจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่งตระกูล ADXL335 เพื่อทำการตรวจวัดจุดที่มีความเร่งสูงสุดบนแนวแผ่นหลัง เพื่อติดตั้งอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน โดยตำแหน่งติดตั้งสามารถแสดงได้ดังจุดสีแดงบนรูปที่ 3 ซึ่งการตีความจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทั้งในเชิงของขนาด ทิศทาง และความถี่ ที่ขนาดของความเร่งมากจะให้พลังงานที่มาก และที่ความถี่จะส่งผลต่อการตอบสนองของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

2.4.2 การออกแบบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงาน

ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า อาทิ พลังงานจากการเคลื่อนไหวของร่างกาย และจากแรงสั่นสะเทือน โดยงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มีการเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวของร่างกายมนุษย์ ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric generator) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็ก (magnetic inductive generator) [5] ซึ่งแม้จะได้ผลการได้เปรียบด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำแม่เหล็ก ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้

ถึง 0.7 mW แต่ด้วยอุปกรณ์ประกอบที่มีขนาดและน้ำหนักที่มากกว่า ตลอดจนมีความจำเป็นต้องตอบสนองด้วยแรงเริ่มต้นสูงและอยู่ในทิศทางที่กำหนดไว้เท่านั้น ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 0.22 mW แต่ด้วยความได้เปรียบในเชิงขนาดและน้ำหนัก สามารถทำการผลิตไฟฟ้าได้โดยการขยับหรือเคลื่อนไหวโดยไม่ต้องใช้แรงเริ่มต้นที่มากนัก จึงเป็นตัวเลือกสำคัญของการใช้เป็นอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับกระเป๋าสะพายเพื่อความมั่นคง ภัยพิบัติ และพื้นที่ห่างไกล อย่างไรก็ตามการออกแบบวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเพื่อการเก็บเกี่ยวพลังงานมีความจำเป็นที่จะต้องอ้างอิงกับค่าความถี่ธรรมชาติของตัววัสดุ ซึ่งการปรับเปลี่ยนความถี่ธรรมชาติของระบบ สามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบทางกายภาพและน้ำหนักเนื่องจากการสั่นสะเทือนเป็นหลัก



รูปที่ 3 ตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความเร่งบนแผ่นหลัง

ทั้งนี้ในแผ่นวัสดุเพียโซอิเล็กทริกสำหรับเก็บเกี่ยวพลังงานจะประกอบด้วยชั้นต่างๆ ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ ทองแดง เพียโซอิเล็กทริกชนิดลีดเซอโรโคเนตไททาเนต (PZT) สเตนเลส และโพลีเอไมด์ โดยมีความหนารวม 0.46 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อทำการติดตั้งน้ำหนักถ่วงแล้วจะส่งผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติในการการสั่นในโหมด 1 (Mode Shape 1) มีค่าลดลง ซึ่งสามารถคำนวณน้ำหนักถ่วงได้จากสมการที่ (1)

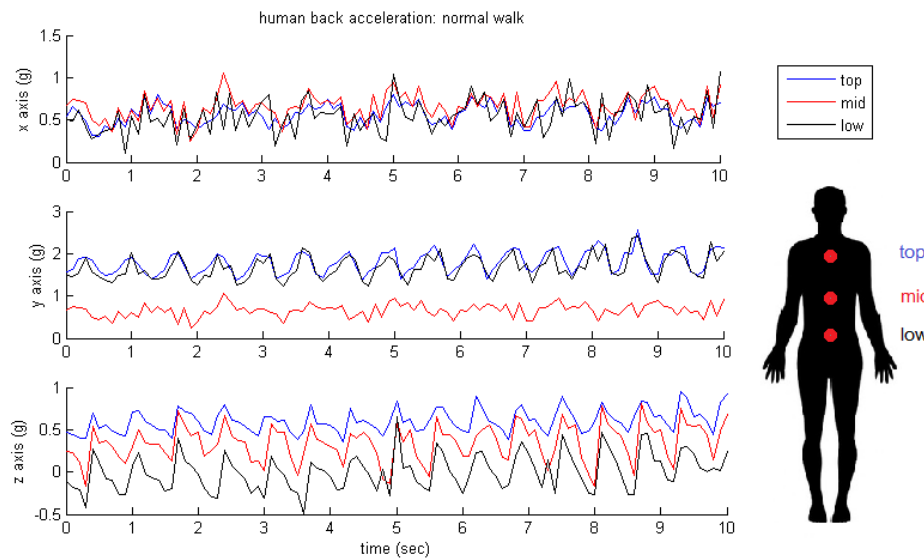
$$m_t = \frac{k}{(2\pi f)^2} - m \quad (1)$$

เมื่อ	m_t	คือ น้ำหนักถ่วงปลาย (กิโลกรัม)
	k	คือ ค่าความแข็ง (stiffness) ของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก
	f	คือ ความถี่ของการสั่นสะเทือน (Hz)
	m	คือ น้ำหนักของแผ่นเพียโซอิเล็กทริก (กิโลกรัม)

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์

ผลการวัดความเร่งของการเคลื่อนไหวจะแบ่งออกเป็น การเดิน การวิ่งเหยาะ และการวิ่ง โดยทดสอบซ้ำในกลุ่มชายผู้มีความสูง 170-175 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของชุดข้อมูล โดยสามารถแสดงข้อมูลตัวอย่างความเร่งเนื่องจากการเดิน ซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวพื้นฐานของผู้ปฏิบัติงานในเชิงเวลาได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การตรวจวัดความเร่งจากการเดินในตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์บนแผ่นหลัง

ซึ่งจากชุดข้อมูลในการแสดงผลเชิงเวลาจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่เร็วขึ้นจากเดินเป็นวิ่งเหยาะและเป็นการวิ่งจะส่งผลให้ขนาดและความถี่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาความเร่งในแนวแกนตั้งฉากกับพื้นโลก (แกน y) จะมีการเปลี่ยนแปลงของความเร่งสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นทิศทางการเคลื่อนที่ที่ต้านกับแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะส่งผลให้มีการกระแทกในการเคลื่อนที่ที่สูงกว่าการเคลื่อนที่ในทิศทางอื่น สำหรับการพิจารณาในมุมมองของตำแหน่งติดตั้ง พบว่าความเร่งเนื่องจากการเคลื่อนไหวของแผ่นหลังส่วนบนและส่วนล่างจะมีขนาดใกล้เคียงกัน และมีความเร่งของแผ่นหลังส่วนกลางอยู่ในระดับต่ำที่สุด

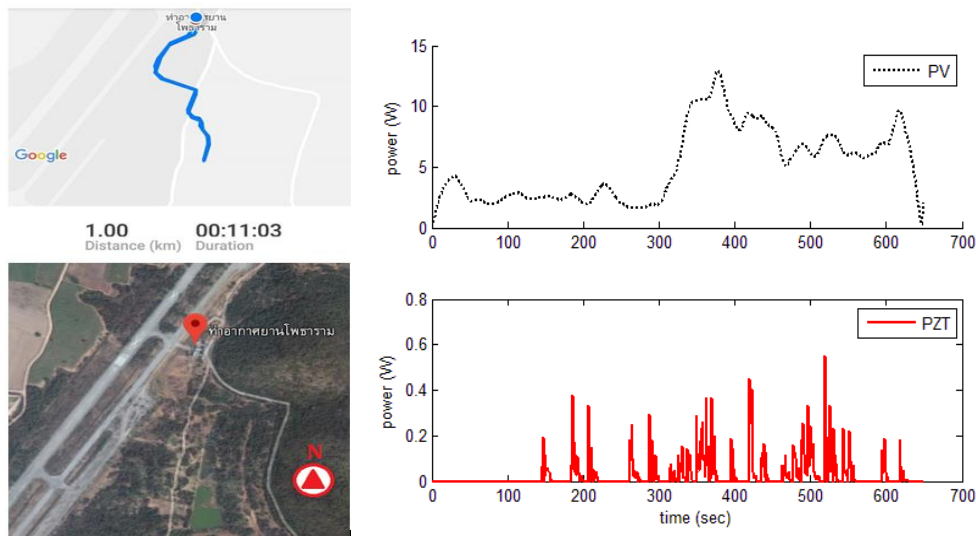
สำหรับการพิจารณาให้ชัดเจนขึ้นทางด้านความถี่ ผลการเก็บข้อมูลในเชิงเวลาจะถูกนำไปประมวลผลเชิงความถี่ด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) โดยทำการแสดงผลแยกจากกันในแต่ละทิศทางและตำแหน่งพบข้อสังเกตที่ต่างออกไปจากการประเมินข้อมูลเฉพาะเชิงเวลา ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างของความถี่ของตำแหน่งการติดตั้ง ที่ตำแหน่งหลังส่วนบนจะมีการเคลื่อนไหวในช่วงความถี่ที่กว้างกว่าสำหรับการวัดความเร่งในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก แต่ความเร่งในทิศทางอื่นจะอยู่ในระดับต่ำกว่าการติดตั้งในตำแหน่งส่วนล่างของแผ่นหลัง ซึ่งสามารถเห็นผลการทดลองได้ชัดเจนขึ้นเมื่อมีการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วของการวิ่งที่ความเร็ว 8km/h และด้วยข้อมูลที่ได้อัปโหลดไว้ข้างต้น ทำให้สามารถเลือกพื้นที่ติดตั้งของอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวได้ที่แผ่นหลังส่วนล่าง โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับพื้นโลกจะสามารถให้พลังงานที่สูงที่สุด ทั้งนี้จะมีข้อได้เปรียบในด้านของพื้นที่ใช้สอยของกระเป๋าสะพายและการถ่ายเทน้ำหนักลงสู่สะโพกได้ง่ายขึ้น

3.2 ผลการเก็บเกี่ยวพลังงาน

จากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของวิทยุสื่อสาร สามารถทำการออกแบบระบบสะสมพลังงานได้โดยให้แรงดันเท่ากับ 12 VDC โดยเลือกใช้ระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออนความจุ 3.45Ah ซึ่งเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ของวิทยุสื่อสารเดิมที่ 4Ah จะสามารถเพิ่มระยะเวลาปฏิบัติการได้เป็น 26 ชั่วโมง เมื่อทำการรับสัญญาณที่กำลังส่ง 2W ซึ่งแบตเตอรี่ที่ถูกเลือกเป็นระบบสะสมพลังงานจะไม่ถูกพิจารณาให้มีน้ำหนักที่มากเกินไป โดยมีน้ำหนักเพียง 250 กรัม เนื่องจากกระเป๋าสะพายจะทำการติดตั้งระบบเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งจะช่วยยืดระยะเวลาในการปฏิบัติการได้มากขึ้น ทั้งนี้ระบบสะสมพลังงานจะสามารถป้อนเดิมพลังงานได้จากระบบเก็บเกี่ยวพลังงานในทั้งสองส่วน ได้แก่ ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์และระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเลือกใช้เป็นประเภทให้ตัวได้ (flexible solar cell) เพื่อให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานที่มีการเคลื่อนไหวโดยมีกำลังผลิตที่ 10W ซึ่ง

ขนาดจะไม่ใหญ่จนเป็นภาระ วัสดุเคลือบแสงได้ถูกออกแบบเพื่อป้องกันการขูดขีดได้ง่ายซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยจะต้องมีศักยภาพการส่องผ่านของแสงอยู่ในระดับที่สูง และนอกจากนี้จะต้องต้านทานความชื้นซึ่งอาจก่อให้เกิดการเสื่อมสภาพของเซลล์ด้วย วัสดุ Ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) เป็นวัสดุประเภทโพลีเมอร์ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นวัสดุเคลือบแสง เนื่องจากสามารถให้แสงผ่านได้ถึง 85% โดยเป็นช่วงแสงที่มองเห็น (visible light) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่ติดไฟได้ยากจึงเหมาะสมต่อการนำมาใช้งานเพื่อภัยพิบัติ ซึ่งอาจต้องผ่านพื้นที่ซึ่งเกิดไฟไหม้อีกด้วย และแม้ว่าระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานส่วนใหญ่ของระบบ แต่เนื่องจากการปฏิบัติการกิจอาจถูกจำกัดด้วยพื้นที่และช่วงเวลาซึ่งอาจไม่มีแสงอาทิตย์ ทำให้การใช้แหล่งพลังงานทางเลือกอื่นจึงมีความสำคัญ ซึ่งระบบเก็บเกี่ยวพลังงานซึ่งมีน้ำหนักเบาและสามารถทำการเก็บเกี่ยวพลังงานได้ระหว่างปฏิบัติหน้าที่จะได้แก่การเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหว ซึ่งได้เลือกใช้วัสดุประเภทเพียโซอิเล็กทริกเพื่อใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงาน โดยระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวได้ทำการออกแบบโดยอ้างอิงจากการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์ซึ่งเน้นไปที่การเคลื่อนที่โดยการเดินหรือวิ่งซึ่งเป็นการเคลื่อนไหวหลักในการปฏิบัติหน้าที่ และได้เลือกใช้เพียโซอิเล็กทริกในรูปแบบคานยื่น (cantilever beam) เพื่อให้เกิดการสั่นสะเทือนตามแนวแรงที่ออกแบบได้อย่างอิสระและสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด ทั้งนี้ความถี่การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะแปรผันโดยตรงกับความเร็ว โดยมีค่าระหว่าง 2-5 Hz ในการเคลื่อนไหวปกติ ซึ่งเป็นความถี่ที่ต่ำกว่าค่าความถี่ธรรมชาติของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ดังนั้นจึงมีการออกแบบโดยเพิ่มน้ำหนักถ่วงเพื่อลดความถี่ลงให้เหมาะสมกับการสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของมนุษย์

การทดสอบในภาคสนามได้ทำการทดสอบโดยกลุ่มชายผู้มีความสูง 170-175 เซนติเมตร จำนวน 5 ตัวอย่างในพื้นที่สนามบินโพธาราม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาเขตราชบุรี โดยมีการเดินเข้าพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นผิวธรรมชาติ เป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยมุ่งหน้าไปยังทิศใต้ก่อนจะเปลี่ยนทิศทางไปทางทิศตะวันออกและมุ่งหน้าลงทิศใต้เป็นระยะทางรวม 500 เมตร ก่อนจะเดินทางย้อนกลับสู่เส้นทางเดิม 500 เมตร ดังรูปที่ 7 (ซ้าย) ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์และวัสดุเพียโซอิเล็กทริก ดังรูปที่ 7 (ขวา) ทั้งนี้พลังงานจากแสงอาทิตย์ที่เก็บเกี่ยวได้จะเกี่ยวข้องกับทิศทางการเดินซึ่งแปรผันตามมุมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนกระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงาน แต่สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากการเคลื่อนไหวสามารถทำการเก็บเกี่ยวได้ตลอดระยะเวลาที่มีการเคลื่อนไหว โดยจะเห็นลักษณะของพลังงานจะมีการแสงเป็นช่วงๆ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้จากวัสดุเพียโซอิเล็กทริกมีความไม่สม่ำเสมอ และอยู่ในรูปของกระแสสลับ ดังนั้นการนำพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้มาใช้งานจะต้องผ่านตัววงจรเรียงกระแส (Rectifier) จากนั้นจะผ่านเข้าสู่ระบบสะสมพลังงานขนาดเล็ก (Micro-Storage) ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุ เพื่อปรับรูปสัญญาณไฟฟ้าให้มีความราบเรียบและสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งหลังจากนี้ผ่านวงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) ซึ่งเป็นวงจรปรับระดับแรงดันที่ใช้การควบคุมแรงดันแบบฮิสเตอร์รีซิส (hysteretic voltage algorithm) และคอยป้องกันช่วงแรงดันไฟฟ้าต่ำ ก่อนที่แรงดันไฟฟ้าจะถูกปรับแต่งในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวพลังงานแล้วจะถูกนำไปประจุเข้าระบบสะสมพลังงานหลักต่อไป ทั้งนี้เมื่อมีการใช้งานเฉพาะวิทยุสื่อสารอย่างต่อเนื่องด้วยกำลังส่ง 2 W สามารถใช้งานได้ 26 ชม. 6 นาที และเมื่อใช้งานวิทยุสื่อสารเพื่อรับข่าวสาร สามารถใช้งานได้ 52 ชม. 18 นาที ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบภาคสนามตามเส้นทาง (ซ้าย) โดยแสดงค่าพลังงานที่เก็บเกี่ยวได้ (ขวา)

4. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ภายใต้โครงการต้นแบบกระเป๋าสะพายเก็บเกี่ยวพลังงานสำหรับการใช้งานด้านความมั่นคง ภัยพิบัติ และพื้นที่ห่างไกล รหัสโครงการ P-17-50397

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rome, Lawrence C. (Strafford, PA, US), 2006, Backpack for harvesting electrical energy during walking and for minimizing shoulder strain, United States, Lightning Packs, LLC (Strafford, PA, US) 6982497.
- [2] Rome, Lawrence (Strafford, PA, US), 2008, Backpack for harvesting electrical energy during walking and for minimizing shoulder strain, United States, Lightning Packs LLC (Strafford, PA, US) 7391123.
- [3] Cavagna, G.A. and Franzetti, P., 1986. The determinants of the step frequency in walking in humans. The Journal of physiology, 373(1), pp.235-242.
- [4] Cavagna, G., Mantovani, M., Willems, P. et al., 1997, The resonant step frequency in human running, Pflügers Arch, Volume 434, Issue 6, pp 678–684.
- [5] G De Pasquale, A Somà, F Fraccarollo., 2013, Comparison Between Piezoelectric and Magnetic Strategies For Wearable Energy Harvesting, Journal of Physics: Conference Series, Vol. 476., 012097.

การศึกษาผลของความตระหนักของความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานผ่านความร่วมมือในการอนุรักษ์พลังงานในโรงเลื่อยไม้

The Study of The Effect of Awareness of Energy Conservation on Participation in Energy Conservation in Sawmills

ศิวกร กาญจนปัทม^{1*} ธุกฤต ปานขลิบ²

Siwakorn Kanjanapattama^{1*} Thakrit Panklib²

^{1,2} คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

* E-mail : subzeroxsorn@gmail.com

บทคัดย่อ

โรงเลื่อยไม้ถือเป็นโรงงานที่สร้างมูลค่าเพิ่มอย่างหนึ่งให้กับผลผลิตมวลรวมของประเทศ การสำรวจโรงเลื่อยไม้จำนวนกว่า 100 โรงงานในจังหวัดสุราษฎร์ธานี ได้เลือกโรงเลื่อยไม้ 2 แห่ง ที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีรูปแบบการทำงานที่คล้ายคลึงกัน เพื่อทำการศึกษาผลของความตระหนักของความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานผ่านความร่วมมือในการอนุรักษ์พลังงาน โดยได้ทำการอบรมให้กับพนักงานสำหรับการอนุรักษ์พลังงานทั้งสองโรงงาน โดยได้เลือกโรงเลื่อยหนึ่งในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และมีการจัดตั้งคณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานขึ้นเพื่อกำกับดูแลและดำเนินการทางมาตรการเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงาน จากนั้นทำตรวจวัดการใช้พลังงานกับโรงงานทั้งสองโรงงานผ่านแบบสอบถามการประเมินพฤติกรรมการให้ความร่วมมือของบุคลากร ผลการเปรียบเทียบกับโรงงานที่มีการตั้งคณะกรรมการเพื่อกำกับดูแลอย่างใกล้ชิดจากผลของงานวิจัย ทำให้เห็นว่าเมื่อบุคลากรในโรงงานได้ทราบถึงความสำคัญด้านการประหยัดพลังงานแล้วก็สามารถปฏิบัติตามมาตรการได้อย่างถูกต้อง โดยโรงเลื่อยที่ 1 มีการกำหนดมาตรการให้ปฏิบัติตาม มีอัตราจำนวนของบุคลากรที่เริ่มจะปฏิบัติตามมาตรการด้วยเฉลี่ยปานกลาง ในระหว่างที่โรงเลื่อยที่ 2 ซึ่งไม่มีการกำหนดมาตรการนั้นมีอัตราการดำเนินกิจกรรมอยู่ในระดับน้อย โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงปี 2561 ทำให้สามารถสรุปได้ถึงความมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 19.69 และ 7.39 สำหรับโรงเลื่อยไม้ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนก่อนการอบรม และเมื่อมีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 16.44 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงก่อนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ตามมาตรการ หรือสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 29.25 เมื่อเทียบกับการดำเนินการก่อนการอบรม

คำสำคัญ: การอนุรักษ์พลังงาน, โรงเลื่อยไม้, ความร่วมมือของบุคลากร

ABSTRACT

Sawmill is the one of the value added for Thailand GDP. After surveying over 100 sawmills in Surat-Thani province, 2 sawmills with similar size and similar working patterns were selected to study the effect of awareness of energy conservation on participation in energy conservation. Both factories have trained their employees regarding to energy conservation. The sawmill No.1 was selected to establish a working committee on energy conservation to carry out energy conservation policy, compared to the sawmill No.2 that without established energy

conservation committee. The energy consumption was measured from both factories and used the questionnaire to evaluate the participation behavior of personnel. The results of comparison, the sawmill that have set up a committee on energy conservation showed that the staffs aware of the importance of energy saving on the level of moderate, and the sawmill without the committee has a low level of awareness and participate the energy conservation activity. On the result on energy usage reduction, the participation in energy conservation activities can reduce energy consumption by 19.69 percent and 7.39 percent for sawmill No.1 and No.2, respectively after training compared to the year 2018. After proceeding the policy on energy conservation, the energy consumption have reduced up to 16.44 percent compared to the period before the equipment change according to the policy, or reduce energy consumption by 29.25 percent compared to the operation before the training.

Keywords: Energy Conservation, Participation, Sawmill

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมของประเทศไทยนั้น มีโรงงานอยู่กว่า 107 แบบ [1] โดยโรงงานประเภทกิจการเกี่ยวกับไม้ นั้น ไม่ว่าจะเป็น การเลื่อย ไซ ซอย เซาะร่อง หรือการแปรรูปไม้ นั้น สามารถเปิดกิจการได้ทุกขนาด โดยส่วนมากจะใช้เครื่องจักรเกินกว่า 50 แรงม้าหรือคนงานเกิน 50 คน หรือโรงงานทุกขนาด ซึ่งใช้ฟืน หรือแกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งทำให้เห็นว่าโรงงานสำหรับกิจการไม้ นับว่าเป็นโรงงานที่ใช้พลังงานมากในการดำเนินงาน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีมีโรงงานประเภทกิจการ หรือโรงเลื่อยไม้ กว่า 100 โรง [2] ทางผู้ศึกษาจึงสนใจเลือกตัวอย่างการทดสอบจากโรงเลื่อยไม้ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี

ซึ่งในการศึกษานี้จะเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของบุคลากรในโรงเลื่อยไม้ 2 แห่ง ในจังหวัดสุราษฎร์ธานีที่ดำเนินกิจการคล้ายกัน ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยได้ทำการอบรมให้กับพนักงานสำหรับการอนุรักษ์พลังงานทั้งสองโรงงาน โดยได้เลือกโรงเลื่อยหนึ่งในการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีการจัดตั้งคณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานขึ้นเพื่อกำกับดูแลและดำเนินการทางมาตรการเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานโรงงาน จากนั้นจะดำเนินการตรวจวัดการใช้พลังงานกับโรงงานทั้งสองโรงงานและใช้แบบสอบถามการประเมินพฤติกรรมทำให้ความร่วมมือของบุคลากร เพื่อทำการวิเคราะห์ผลถึงการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและความร่วมมือของบุคลากรในการอนุรักษ์พลังงาน โดยจะวิเคราะห์ผลด้านความตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานของบุคลากร หลังจากการอบรม โดยเปรียบเทียบกับโรงงานที่มีการตั้งคณะกรรมการเพื่อกำกับดูแลอย่างใกล้ชิด

2. การดำเนินการวิจัย

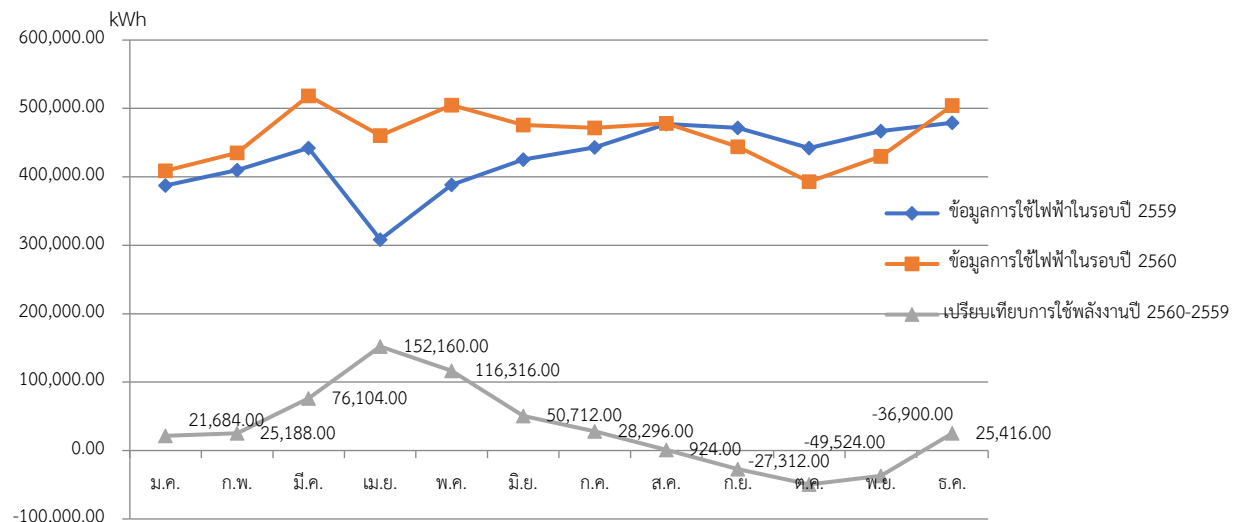
ทางผู้วิจัยได้ให้ปรึกษาและร่วมกับเจ้าหน้าที่ของโรงเลื่อยในการดำเนินการจัดตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานและนโยบายอนุรักษ์พลังงานของโรงเลื่อยทั้ง 2 แห่งจนแล้วเสร็จ พร้อมทั้งแนะนำในการจัดทำระบบการจัดการพลังงานให้พนักงานในโรงงานทราบถึงรายละเอียดที่ทางโรงงานจะดำเนินการต่อไปนับจากนี้ โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการดำเนินการในโรงเลื่อยไม้ทั้ง 2 โรงงาน

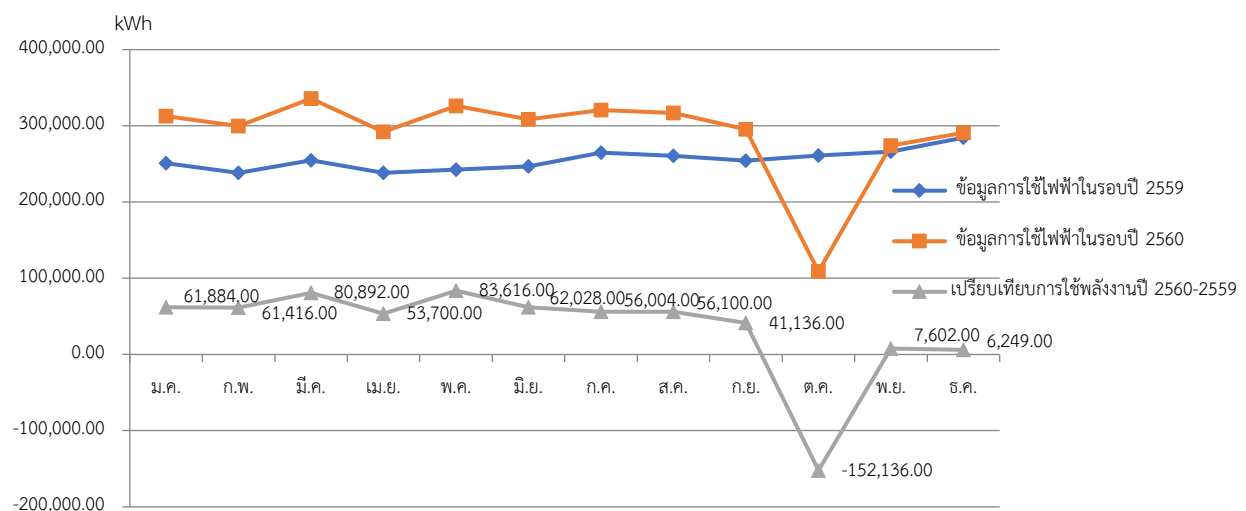
โรงเลื่อยไม้ที่ 1	โรงเลื่อยไม้ที่ 2
- กิจกรรมอบรมการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน	- กิจกรรมอบรมการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน
- จัดตั้งคณะกรรมการอนุรักษ์พลังงาน	- กำกับติดตามการปฏิบัติงานโดยอ้อม ผ่านทางการสังเกตการณ์ และผู้จัดการโรงงาน
- ดำเนินการตามมาตรการ	
- ตรวจติดตามผลการประหยัดพลังงาน	- ตรวจติดตามผลการประหยัดพลังงาน

2.1 ข้อมูลการใช้พลังงานในรอบ 2 ปีที่ผ่านมา (2559-2560)

จากการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานพบว่า ทางโรงเลื่อยมีการใช้พลังงานแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การใช้พลังงานไฟฟ้า และ การใช้พลังงานความร้อนโดยใช้เชื้อเพลิงเป็นปึกไม่ยางพาราที่ได้จากการเลื่อยแปรรูปไม้ยางพาราที่อยู่ในกระบวนการผลิตของโรงเลื่อย จึงไม่ได้ทำการบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ปึกไม้ยางพาราต่อเดือนไว้ ดังนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ามาแสดงเป็นกราฟข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2



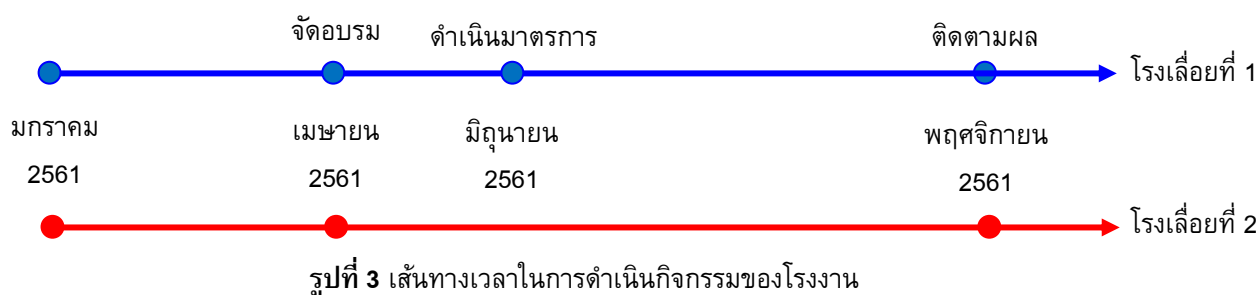
รูปที่ 1 ภาพแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างปี 2559-2560 ของโรงเลื่อยที่ 1



รูปที่ 2 ภาพแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานระหว่างปี 2559-2560 ของโรงเลื่อยที่ 2

ทั้งนี้เนื่องจากโรงงานไม่ได้เปิดเผยข้อมูลผลผลิต ทำให้ไม่สามารถทำการคำนวณการใช้พลังงานต่อผลผลิตได้ ดังนั้นการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานระหว่างปี 2559-2560 จำเป็นต้องทำการพิจารณาจากผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในรอบปี 2559-2560 เพื่อแสดงแนวโน้มของธุรกิจโดยอ้อม เนื่องจากรูปแบบธุรกิจของโรงงานและขนาดของโรงงานรวมถึงอัตราส่วนของบุคลากรของทั้ง 2 โรงงานมีความคล้ายคลึงกัน

การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างเดือนต่อเดือนในปี 2559-2560 ของทั้งสองโรงงาน แสดงให้เห็นถึงการเติบโตของธุรกิจโดยอ้อม เนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทั้งสองโรงงาน โดยจะมีช่วงเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน มีการใช้พลังงานที่ลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตุลาคม ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ข้อมูลสามารถเป็นไปได้จากผลผลิตที่ลดต่ำลงและจากวันหยุดทางราชการหลายวันในช่วงเดือนตุลาคม 2560 ทั้งจากวันคล้ายวันสวรรคตของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช บรมนาถบพิตร, วันปิยะมหาราช, และ พระราชพิธีถวายพระเพลิงพระบรมศพพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช บรมนาถบพิตร โดยสมมติฐานเมื่อมีการดำเนินกิจกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานผลต่างของความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการดำเนินกิจกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานจะเป็นไปตามเส้นทางเวลาดังรูปที่ 3 โดยมีเส้นสีน้ำเงินแสดงถึงเส้นทางเวลาในการดำเนินกิจกรรมของโรงงานที่ 1 และเส้นสีแดงแสดงเส้นทางเวลาในการดำเนินกิจกรรมของโรงงานที่ 2



2.2 การดำเนินงานมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ในโรงงานที่ 1 ผู้วิจัยและคณะทำงานอนุรักษ์พลังงานของโรงงานได้ร่วมกันเข้าสำรวจศักยภาพที่สามารถดำเนินการได้โดยเน้นที่มาตรการที่ใช้งบประมาณลงทุนไม่สูงมากและมาตรการที่สามารถดำเนินการได้โดยไม่ต้องลงทุนเป็นหลัก เพื่อที่จะสามารถดำเนินการปรับปรุงได้อย่างไม่กระทบกับแผนการบริหารงบประมาณของบริษัท ผู้วิจัยจึงรวบรวมมาตรการต่าง ๆ ที่พบมาแสดงดังต่อไปนี้

มาตรการที่ 1 การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟฟ้าชนิดประหยัดพลังงาน

มาตรการที่ 2 การยกเลิกการใช้หลอดเมทัลฮาไลด์ โดยใช้กระเบื้องหลังคาแบบโปร่งแสง

มาตรการที่ 3 การลดการรั่วไหลของระบบอากาศอัด

ในส่วนของมาตรการที่ 1 และมาตรการที่ 2 จากการเข้าไปสำรวจส่วนของสำนักงานและโรงงานพบว่าการใช้งานหลอดเมทัลฮาไลด์ กำลังไฟฟ้าต่อหลอด 400 วัตต์ โดยให้ความส่องสว่างในส่วนของสำนักงาน ทางเดินภายในโรงงาน อาคารสินค้า โถงภายในตัวโรงงาน และ บริเวณรอบนอกเป็นจำนวนมาก และเมื่อทำการตรวจวัดการเปิดใช้งานไฟฟ้าแสงสว่าง ในการทำงานส่วนการผลิต ซึ่งใช้พลังงานตลอดเวลา เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงาน จึงต้องการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าแสงสว่างจากหลอดเมทัลฮาไลด์กำลังไฟฟ้าต่อหลอด 400 วัตต์ เป็นหลอด LED กำลังไฟฟ้าต่อหลอด 105 วัตต์ ทั้งนี้ในบางบริเวณสามารถใช้แสงสว่างจากภายในทดแทนการใช้งานของหลอดไฟฟ้าแสงสว่างแทนได้ เนื่องจากเป็นบริเวณที่ไม่ได้ใช้งานตลอดเวลา และในการใช้งานพื้นที่ส่วนนี้จะใช้งานเฉพาะช่วงเวลาการวันเท่านั้น จึงสามารถใช้แสงสว่างจากธรรมชาติมาทดแทนการใช้หลอดเมทัลฮาไลด์ได้

สำหรับมาตรการที่ 3 จากการเข้าไปสำรวจส่วนของโรงงานพบว่าการใช้งานระบบลมอัดแบบปั๊มลูกสูบ และมีถังพักลมอัดในระบบอัดลม มีสภาพที่ค่อนข้างดีแต่มีลักษณะการทำงานที่ทำงานเกือบจะตลอดเวลา จึงสามารถประเมินได้ว่าบางจุดยังขาดการบำรุงรักษาที่สม่ำเสมอ คือตามข้อต่อ หรือวาล์วจ่ายลมอัดมีการรั่วของลมอัดอยู่ตลอดเวลา หากมีการดำเนินการตรวจสอบและอุดรอยรั่วของลมอัด จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ได้

สำหรับโรงงานที่ 2 ผู้วิจัยไม่ได้มีการกำหนดมาตรการให้ปฏิบัติตามเหมือนโรงงานที่ 1 แต่ได้มีการอบรมบุคลากรในโรงงานและสำนักงานให้ตระหนักถึงความสำคัญของการประหยัดพลังงาน และวิธีการประหยัดพลังงานที่ถูกต้องตามมาตรการประหยัดพลังงาน โดยในโรงงานที่ 2 นั้น ทางผู้วิจัยสังเกตการณ์แต่เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามเพื่อตรวจสอบการประหยัดพลังงานของบุคลากรในโรงงานและสำนักงาน โดยไม่ได้มีการแจ้งให้ดำเนินงานตามมาตรการแต่อย่างใด

2.3 ข้อมูลทั่วไปของบุคลากรในโรงงานที่ 1 และ โรงงานที่ 2

จากการสำรวจพบว่าบุคลากรของโรงงานจะแยกออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ บุคลากรในส่วนธุรการ และบุคลากรในส่วนของโรงงาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะเป็นข้อมูลสำคัญในการพิจารณาโรงงานเทียบเคียงเนื่องจากมีผลต่อการศึกษาทั้งการเปรียบเทียบเชิงขนาด การใช้พลังงาน และในเชิงพฤติกรรม โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละของบุคลากรในโรงงานแยกในส่วนธุรการและส่วนโรงงาน

	บุคลากรรวม (คน)	บุคลากรในส่วน ธุรการ (คน)	คิดเป็นร้อยละ	บุคลากรในส่วน โรงงาน (คน)	คิดเป็นร้อยละ
โรงเลื่อยที่ 1	327	41	12.54	286	87.46
โรงเลื่อยที่ 2	302	35	11.59	267	88.41

ตารางที่ 3 จำนวนและร้อยละของอายุของกลุ่มตัวอย่าง

	อายุ ต่ำ กว่า 30 ปี	คิดเป็น ร้อยละ	อายุ 31- 40 ปี	คิดเป็น ร้อยละ	อายุ 41- 50 ปี	คิดเป็น ร้อยละ	อายุมากกว่า 51 ปี	คิดเป็น ร้อยละ
โรงเลื่อยที่ 1	24	22.86	29	27.62	21	20.00	10	9.52
โรงเลื่อยที่ 2	21	17.50	38	31.67	20	16.67	14	11.67

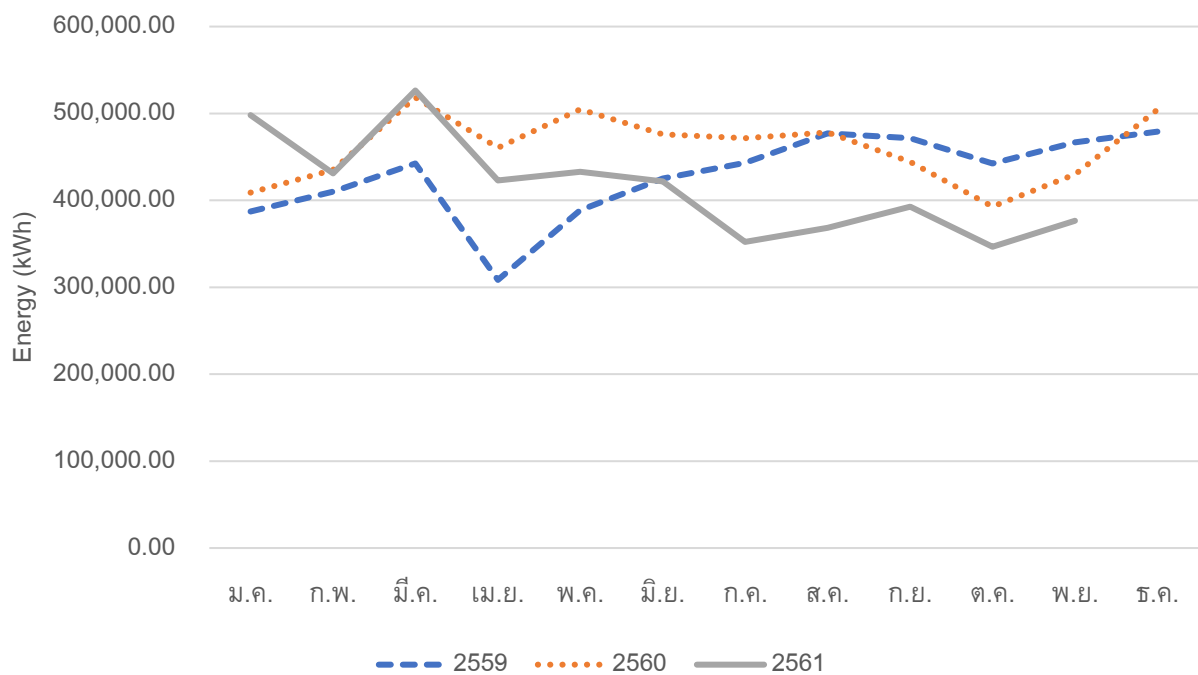
ตารางที่ 4 จำนวนและร้อยละของระดับการศึกษาของกลุ่มตัวอย่าง จำแนกตามระดับการศึกษา

	ต่ำกว่าปริญญาตรี	คิดเป็นร้อยละ	ปริญญาตรี	คิดเป็นร้อยละ	สูงกว่าปริญญาตรี	คิดเป็นร้อยละ
โรงเลื่อยที่ 1	73	69.52	10	9.52	1	0.95
โรงเลื่อยที่ 2	82	68.33	9	7.50	2	1.67

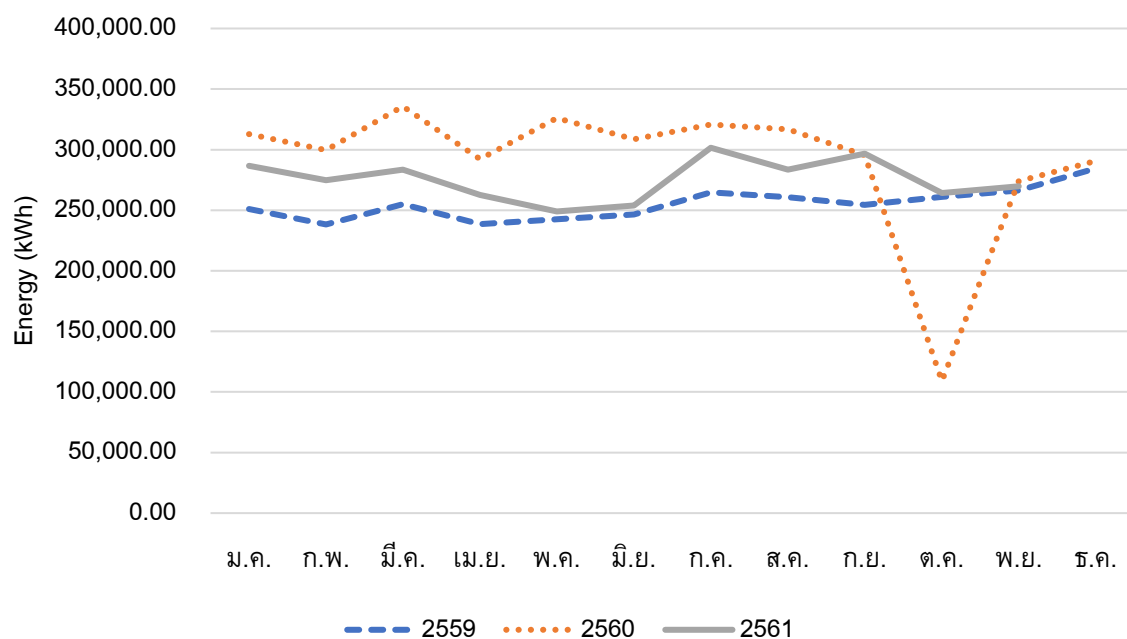
3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการลดการใช้พลังงาน

จากผลการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับปี 2561 โดยทำการเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงปีที่ผ่านมาของทั้งสองโรงงาน ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งสองโรงงานที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 4 และ 5 โดยแสดงถึงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงเลื่อยไม้ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทั้งนี้โรงเลื่อยไม้ที่ 1 ซึ่งมีการแต่งตั้งคณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงมากกว่าโรงเลื่อยไม้ที่ 2



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงเลื่อยไม้ที่ 1



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงเลื่อยไม้ที่ 2

เมื่อพิจารณาผลการดำเนินการในรายละเอียดเชิงเวลา โรงเลื่อยไม้ที่ 1 ได้รับการอบรมการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานเมื่อวันที่ 9 เมษายน 2561 และโรงเลื่อยไม้ที่ 1 ได้รับการอบรมการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2561 ทั้งสองโรงงานได้มีการตื่นตัวและส่งผลให้การใช้พลังงานมีการลดลง ซึ่งเมื่อเข้าสู่เดือน มิถุนายน โรงเลื่อยไม้ที่ 1 ได้มีการดำเนินมาตรการทั้งสิ้น 3 มาตรการ เพื่อลดการใช้พลังงาน จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานสำหรับโรงเลื่อยไม้ที่ 1 สามารถ

ลดลงได้อย่างมากเมื่อมีการปรับเปลี่ยนหลอดไฟ ใช้แสงสว่างธรรมชาติ และลดการรั่วไหลของอากาศอัด ซึ่งแตกต่างจากโรงเลื่อยไม้ที่ 2 ซึ่งจะเห็นความตื่นตัวเนื่องจากการอบรมเพียงช่วงต้น ในระยะเวลาเพียง 2 เดือนและจะมีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นจนใกล้เคียงกับปีที่ผ่านมาจะมีการลดลงในช่วงเดือนตุลาคมซึ่งอาจเป็นไปได้ทั้งการใช้ไฟฟ้าในภาพรวมของโรงงานลดลง และการรับรู้ข่าวของบุคลากรในด้านการตรวจติดตามผลด้านพลังงานทำให้เกิดการกระตุ้นเชิงพฤติกรรมให้มีการอนุรักษ์พลังงานโดยอ้อม ทำให้สามารถสรุปได้ถึงความมีส่วนร่วมในการดำเนินกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 19.69 และ 7.39 สำหรับโรงเลื่อยไม้ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนก่อนการอบรม และเมื่อมีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานจะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 16.44 เมื่อเปรียบเทียบกับดำเนินการก่อนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ร้อยละ 29.25 เมื่อเทียบกับการดำเนินการก่อนการอบรม

3.2 ผลการเก็บเกี่ยวพลังงาน

การออกแบบส่วนของแบบสอบถามความมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงาน เป็นการบ่งชี้ถึงความรู้ความเข้าใจของการอนุรักษ์พลังงานในชีวิตประจำวัน ด้วยการให้ตอบแบบสอบถามนี้จะส่งผลในเชิงจิตวิทยาที่ไม่เจาะจงในระดับความนึกคิด ทำให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการระบุคำถามที่เฉพาะเจาะจงกับบทบาทในโรงงาน ซึ่งการทดสอบนี้จะมุ่งเน้นไปที่จำนวนของกลุ่มบุคลากรที่มีการดำเนินกิจกรรมหลังจากการอบรม แสดงถึงอัตราการตระหนักรู้ที่เพิ่มขึ้น และส่งผลต่อความร่วมมือในการอนุรักษ์พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ในแบบสอบถามได้มีข้อความถามหวังผล ซึ่งเป็นการดำเนินกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานภายในโรงงานประกอบด้วยข้อที่ 1-4, 6, 8, 11, 14-15 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 8 ข้อ

จากผลการทดสอบด้วยแบบสอบถามทำให้เห็นว่า เมื่อบุคลากรในโรงงานได้ทราบถึงความสำคัญด้านการประหยัดพลังงานแล้วก็สามารถปฏิบัติตามมาตรการได้อย่างถูกต้อง โดยโรงเลื่อยที่ 1 ที่มีการกำหนดมาตรการให้ปฏิบัติตามนั้น มีอัตราจำนวนของบุคลากรที่เริ่มจะปฏิบัติตามมาตรการด้วยเฉลี่ยปานกลาง ในระหว่างที่ โรงเลื่อยที่ 2 ซึ่งไม่มีการกำหนดมาตรการนั้น มีอัตราการดำเนินกิจกรรมอยู่ในระดับน้อย ซึ่งทำให้เห็นว่า ทางโรงงานจำเป็นต้องตั้งนโยบายสอดคล้องกับการประหยัดพลังงานเพื่อให้บุคลากรเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญ และช่วยกันลงมือทำตามมาตรการประหยัดพลังงานได้อย่างดีที่สุด

ตารางที่ 5 ผลการสำรวจความรู้ทั่วไปในการอนุรักษ์พลังงานของบุคลากร

ความรู้ทั่วไปในการอนุรักษ์พลังงานในชีวิตประจำวัน	โรงเลื่อยที่ 1					โรงเลื่อยที่ 2				
	ไม่เคยทำ	ทำหลังจากอบรม	ทำเป็นประจำ	ร้อยละ	ระดับการมีส่วนร่วม	ไม่เคยทำ	ทำหลังจากอบรม	ทำเป็นประจำ	ร้อยละ	ระดับการมีส่วนร่วม
1. ปิดไฟทุกครั้งที่ออกจากห้องเกิน 30 นาที	10	35	39	41.7	ปานกลาง	29	19	45	20.4	น้อย
2. ปิดไฟทุกครั้งเวลาพักเที่ยง	5	34	45	40.5	ปานกลาง	20	16	57	20.4	น้อย
3. ช่วยปิดไฟในจุดที่มีการเปิดทิ้งไว้โดยไม่มีคนใช้พื้นที่	10	41	33	48.8	ปานกลาง	36	14	43	15.1	น้อย
4. ช่วยปิดไฟในที่สาธารณะ	46	37	1	44.0	ปานกลาง	64	18	11	19.4	น้อย

<http://jeet.siamtechu.net>

ความรู้ทั่วไปในการอนุรักษ์พลังงานในชีวิตประจำวัน	โรงเลี้ยงที่ 1					โรงเลี้ยงที่ 2				
	ไม่เคยทำ	ทำหลังจากอบรม	ทำเป็นประจำ	ร้อยละ	ระดับการมีส่วนร่วม	ไม่เคยทำ	ทำหลังจากอบรม	ทำเป็นประจำ	ร้อยละ	ระดับการมีส่วนร่วม
5. เลือกใช้หลอดประหยัดพลังงาน LED	45	37	2	44.0	ปานกลาง	71	21	1	22.6	น้อย
6. ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าและถอดปลั๊กไฟ	21	54	9	64.3	มาก	33	29	31	31.2	ปานกลาง
7. เปิดโทรทัศน์ทิ้งไว้ก่อนนอน	47	30	7	35.7	ปานกลาง	74	17	2	18.3	น้อย
8. เปิดโหมด standby เครื่องคอมพิวเตอร์	35	26	23	30.9	ปานกลาง	83	5	5	5.4	น้อย
9. เสียบปลั๊กเครื่องทำน้ำร้อนตลอดเวลา	56	26	2	30.9	ปานกลาง	62	10	21	10.8	น้อย
10. ใช้เตาไฟฟ้าในการประกอบอาหาร	13	45	26	53.6	ปานกลาง	14	36	43	38.7	ปานกลาง
11. ตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส	55	27	2	32.1	ปานกลาง	83	7	3	7.5	น้อย
12. ในฤดูหนาวคุณเลือกใช้พัดลมแทนเครื่องปรับอากาศ	5	21	58	25.0	น้อย	6	13	74	14.0	น้อย
13. ทำความสะอาดแผ่นกรองเครื่องปรับอากาศ	62	19	3	22.6	น้อย	69	4	20	4.3	น้อย
14. ปิดพัดลม/เครื่องปรับอากาศเมื่อต้องออกจากห้องเป็นเวลานาน	11	32	41	38.1	ปานกลาง	32	10	51	10.8	น้อย
15. ปิดเครื่องปรับอากาศก่อนออกจากห้อง 15 นาที	45	34	5	40.5	ปานกลาง	60	10	23	10.8	น้อย

4. เอกสารอ้างอิง

[1] กระทรวงอุตสาหกรรม, 2555, บัญชีประเภทโรงงานอุตสาหกรรม, 12 ธันวาคม 2561, <http://www.industry.go.th/roiet/index.php/download/22469-007/file>

[2] กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2547, ฐานข้อมูลโรงงานจังหวัดสุราษฎร์ธานี, 12 ธันวาคม 2561, <http://userdb.diw.go.th/factory/P84.xls>.

การศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการขยะอันตรายที่มีประสิทธิภาพ

Study of Reverse Logistics for Effective Management of Hazardous Waste in Thailand

เชษฐภณญ์ ลีลาศรีศิริ^{1*} ชุติมภาพร หมอนใหญ่²

Chetphanat Leelasrisiri¹ Chutimaphorn Mhonyai²

¹อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²กรรมการผู้จัดการ บริษัท สปีดซีซั่น จำกัด

* E-mail : Chetphanat_I@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการขยะอันตรายที่มีประสิทธิภาพครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย 2) ศึกษาการประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย 3) ศึกษาการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย 4) ศึกษาการนำเสนอมาตรการจูงใจในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย โดยการใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 องค์กร และกลุ่มตัวอย่าง ผู้บริโภค 400 คน ทำการใช้สถิติวิเคราะห์ทางพฤติกรรมศาสตร์และสังคมศาสตร์ การวิเคราะห์ต้นทุนการบัญชีบริหารของระบบต้นทุนฐานกิจกรรมด้วยการบัญชีบริหาร ผลการศึกษา การออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตรายและมาตรการจูงใจในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตรายที่เหมาะสม

คำสำคัญ: โลจิสติกส์ย้อนกลับ, แบบจำลองโซ่อุปทานเพื่อสิ่งแวดล้อม, ขยะอันตราย, การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม, การบัญชีบริหาร

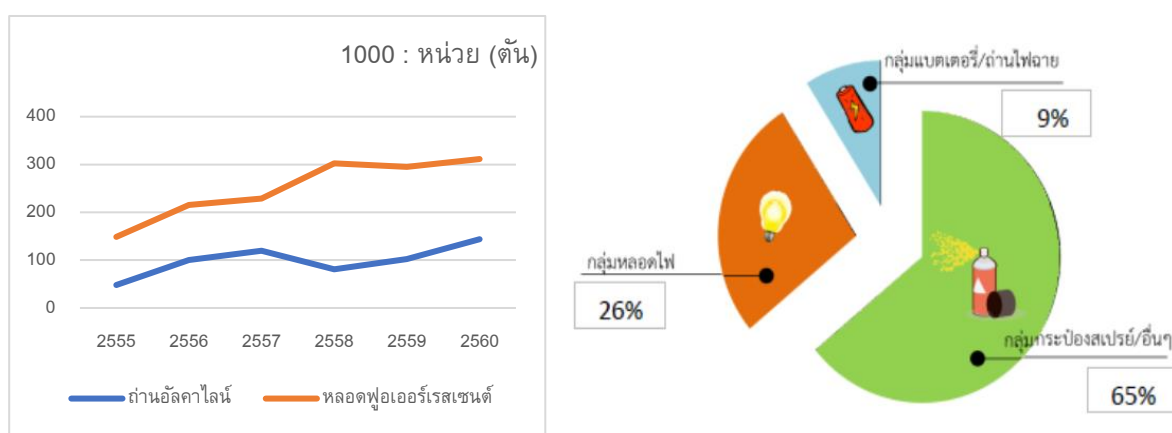
ABSTRACT

This research report is a Study of Reverse Logistics for Effective Management of Hazardous Waste in Thailand. The purposes of this research aims to 1) Study and analyze the factors affecting on the Reverse Logistics Management for Hazardous Waste. 2) Study system design of Reverse Logistics of Hazardous Waste; 3) Study the Logistics cost of Hazardous Waste and 4) Study the incentives presentation for Reverse Logistics of Hazardous Waste respectively. Collecting information and articles especially in e-waste to 10 persons by In-depth interview and collecting with consumer 400 persons, Applied Statistics for the Behavioral Sciences and Cost management in accounting is a form Activity-Based Costing (ABC) Therefore, the results of System design is Reverse Logistics for Effective Management of Hazardous Waste in Thailand and Incentives for of Reverse Logistics for Effective Management.

Keywords: Reverse Logistics, Green SCOR Model, Hazardous Waste, Activity-Based Costing, Management Accounting and Cost accounting.

1. บทนำ

ปัญหาขยะอันตรายของประเทศไทยมีแนวโน้มทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจ รวมถึงพฤติกรรมกรรมการอยู่อาศัยของคนในสังคม ที่บริโภคสิ่งของต่าง ๆ ทั้งที่จำเป็นและฟุ่มเฟือย ประกอบกับความเจริญก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ มากเท่าใด ผลกระทบต่อชีวอนามัยและความปลอดภัยของประชาชนย่อมมีมากยิ่งขึ้นเท่านั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะอันตรายจากการเกิดจากผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท ถ่านอัลคาไลน์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น ขยะอันตรายหรือขยะพิษเหล่านี้มีอยู่ทั้งในบ้านเรือน ที่พักอาศัย อาคารสำนักงาน และร้านค้าต่าง ๆ หากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธีจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งในระยะสั้นและระยะยาว [1, 2] นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษต่อแหล่งน้ำ พื้นดิน และอากาศ ซึ่งมีผลกระทบต่อสัตว์สารเคมีที่เป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาวิกฤตการณ์ขยะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ตามข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยอันตรายที่เกิดขึ้นในปี 2555-2560 รายละเอียด



รูปที่ 1 ปริมาณขยะอันตรายในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล
ที่มา: สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร, 2559

อีกทั้ง ขยะอันตรายส่วนใหญ่ยังถูกทิ้งปะปนกับ ขยะมูลฝอยทั่วไป มีเพียงชุมชนไม่กี่แห่งที่มีการคัดแยกขยะและเก็บรวบรวม นอกจากนี้จากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งประกอบด้วย ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าและชิ้นส่วนที่เป็นอันตราย ส่วนใหญ่ถูกจัดการอย่างไม่เหมาะสม ด้วยการถอดแยกชิ้นส่วนที่มีมูลค่าไปขายแล้วทิ้ง ส่วนที่เป็นอันตรายเมื่อลงสู่สิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนและระบบนิเวศ ขยะอันตรายถือเป็นปัญหาสังคมสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ [2] และการจัดการของเสียอันตรายประสบปัญหาและอุปสรรคในปัจจุบันยังไม่มีระบบคัดแยกเก็บรวบรวมและขนส่งของเสียอันตรายชุมชนจึงส่งผลให้ของเสียอันตรายของชุมชน ถูกทิ้งปนกับขยะมูลฝอยทั่วไป ยังขาดกฎ ระเบียบในการคัดแยกของเสียอันตรายชุมชนออกจากขยะมูลฝอยทั่วไป หลายพื้นที่ยังขาดสถานที่รวบรวมของเสียอันตรายชุมชนเพื่อรอส่งไปกำจัดอย่างถูกต้องเหมาะสม ขยะอันตรายประเภทซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์บางประเภทถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ เป็นวงจรการกำจัดขยะพิษที่เกิดจากอุตสาหกรรมไปไม่ถึงโรงงานที่สามารถกำจัดได้อย่างถูกต้อง [1] ปริมาณการรวบรวมขยะอันตรายในการนำไปกำจัด หรือรีไซเคิลมีปริมาณไม่คุ้มต่อการดำเนินงานส่งผลให้โรงงานทยอยหยุดการดำเนินงาน ที่สำคัญในประเทศไทยยังไม่มีโรงงานทำการ รีไซเคิล ถ่านไฟฉาย ถ่านอัลคาไลน์ที่เป็นรูปธรรม เนื่องจากความไม่คุ้มค่าทางการลงทุนในขณะที่โรงงานรีไซเคิล หลอดฟลูออเรสเซนต์ มีจำนวนน้อยและค่อนข้างอยู่ห่างไกล ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการจัดการขนส่ง (ประมาณราคา 3-5 บาทต่อก่อน สำหรับถ่านอัลคาไลน์และ 10 บาทสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์) [4] อย่างไรก็ตาม การกำจัดไม่ชัดเจนว่าจะส่งขยะอันตรายที่รวบรวมไปกำจัด ณ สถานที่ใด ปลายทางของซากขยะอันตรายของหลอดไฟและถ่านอัลคาไลน์จึงถูกฝัง

กลบโดยไม่มีการบำบัดก่อน [1] นอกจากนี้พบว่าขยะที่เป็นกลุ่มแบตเตอรี่และถ่านไฟฉายเป็นขยะอันตรายและขยะมีพิษซึ่งมีขนาดเล็ก ที่อยู่ใกล้ผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลาหลังการใช้เสร็จไม่ได้รับการรวบรวม คัดแยก จัดเก็บ ทำจัดอย่างถูกวิธีและสุขลักษณะเมื่อถูกนำมาทิ้งกองอยู่ภายใต้และทับถม ของขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมาก (Bulk Volume) และน้ำหนักมากกว่า หรือถูกทิ้งอย่างผิดวิธีสู่ม่าน้ำล้นคลอง โดยไม่ได้รับการบริหารจัดการกำจัดอย่างเหมาะสม โดยสภาพความเป็นจริงแล้วอันตรายที่แฝงอยู่ในขยะมูลฝอย ถ้าไม่ได้รับการแก้ไขด้วยการบริหารจัดการแบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) อันตรายต่าง ๆ จะถูกนำไปทับถมในกองขยะสูงใหญ่อาจถูกเผาไหม้ควันซึ่งเป็นมลพิษ มลภาวะทางอากาศ (Smoke pollution) ควันพิษและสิ่งแฉะล้น ดังนั้น ปัญหาสำคัญ คือ ความไม่เคร่งครัด หรือขาดมาตรการของการบริหารจัดการซากผลิตภัณฑ์ปะปนกับขยะทั่วไปและการจัดการซากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ก่อให้เกิดผลมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและสิ่งแวดล้อม อย่างเช่นการเกิดผลกระทบจากกองทับของขยะก่อให้เกิดไฟไหม้ที่บริเวณแพรกษา ควันพิษแพร่กระจายส่งผลกระทบต่อสุขภาพของชุมชนและสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก (เกริกกล้า สนธิมาศ, 2559)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการบริหารจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการขยะอันตรายที่มีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นกรณีศึกษาถ่านอัลคาไลน์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตรายและประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับที่แท้จริงของขยะอันตราย เพื่อนำเสนอมาตรการมุ่งเน้นในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย อันจะนำไปสู่การเพิ่มมูลค่าของสินค้า และช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเกิดความปลอดภัยของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย
- 2.2 เพื่อประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย
- 2.3 เพื่อออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย
- 2.4 เพื่อนำเสนอมาตรการมุ่งเน้นในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย

3. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย กรณีศึกษาถ่านอัลคาไลน์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ เนื่องจากการจัดการขยะอันตรายเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับทุกคนตั้งแต่ผู้ผลิต ผู้ขาย และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จนถึงผู้รวบรวม คัดแยก และนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้ง จึงทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการจัดการขยะอันตราย สำหรับกรณีศึกษา 2 ประเภท ได้แก่ ถ่านอัลคาไลน์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ และออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่เหมาะสม พร้อมทั้งประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับ รวมถึงศึกษานโยบาย มาตรการในการจัดการขยะอันตรายประเภทถ่านอัลคาไลน์ในปัจจุบันของไทยเปรียบเทียบกับต่างประเทศที่มีการจัดการที่ดี เพื่อนำไปสู่การพัฒนามาตรการมุ่งเน้นในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย

ในการศึกษานี้ทำรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ภายในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยกลุ่มที่คัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 1 หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเกณฑ์การคัดเลือกมาจากบุคคลที่มีความรู้ ความชำนาญ ประสบการณ์ในเรื่องนั้น ๆ จากหน่วยตัวอย่างที่ผู้วิจัยเลือกได้ หรือที่เรียกว่า ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) โดยใช้วิธีเดลฟาย (Delphi Method) มากำหนดจำนวนในการสัมภาษณ์เชิงลึกและผู้ทำแบบสอบถาม จากการศึกษาของ Macmillan (1971) ได้ข้อสรุปเกี่ยวกับจำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ใช้การวิจัยด้วยวิธีเดลฟาย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิจัยด้วยวิธีเดลฟาย (Delphi technique)

จำนวนผู้เชี่ยวชาญ	ช่วงของความคลาดเคลื่อน	อัตราการลดลงของความคลาดเคลื่อน
1 – 5	1.20 -0.70	0.50
5 – 9	0.70 – 0.58	0.12
9 – 13	0.58 – 0.54	0.04
13 – 17	0.54 – 0.50	0.04
17 – 21	0.50 – 0.46	0.02
21 – 25	0.48 – 0.46	0.02
25 - 29	0.46 – 0.44	0.02

ที่มา: Macmillan. (1971)

โดยพบว่าหากจำนวนผู้เชี่ยวชาญมีขนาดตั้งแต่ 17 คนขึ้นไป อัตราการลดลงของความคลาดเคลื่อนจะน้อยมากจนคงที่ ซึ่งเหลือเพียงร้อยละ 0.02 โดยทำการเลือกกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน

อีกทั้ง การดำเนินการรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2 เป็นผู้บริโภคร การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างจากการสำรวจครัวเรือนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 400 กลุ่มตัวอย่าง คณะผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มแบบสัดส่วน (Proportion Random Sampling) โดยกำหนดขนาดตัวอย่างตามตารางที่ 2 แสดงจำนวนแบบสอบถามในแต่ละจังหวัดที่เลือก คณะผู้วิจัยได้เลือกอำเภอหรือเขต และตำบลหรือแขวงที่มีความหนาแน่นของประชากร และจำนวนครัวเรือนเพื่อลงพื้นที่ในการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม

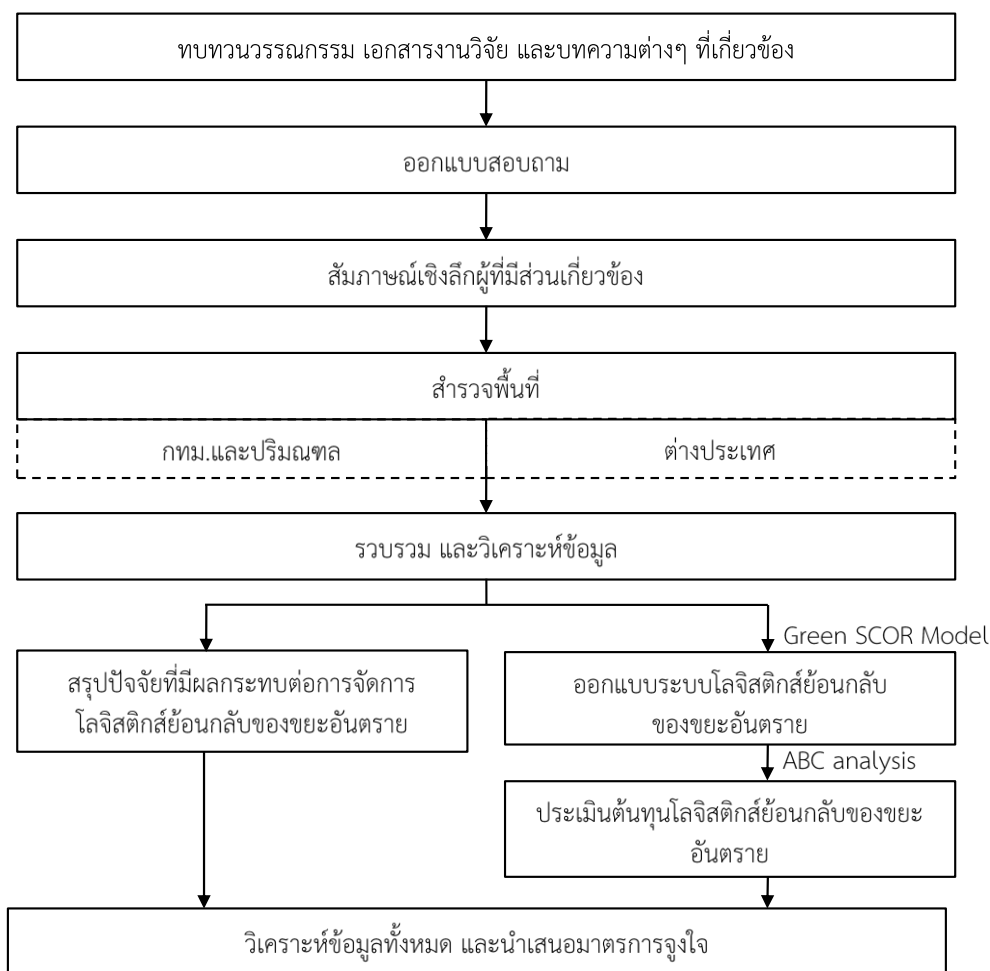
ตารางที่ 2 จำนวนกลุ่มตัวผู้บริโภคโดยการรวบรวมด้วยแบบสอบถาม

จังหวัด	สัดส่วนของครัวเรือน	จำนวนแบบสอบถาม (ร้อยละ)	จำนวนแบบสอบถาม ที่ทำการรวบรวม
กรุงเทพมหานคร	2,887,274	52.19	209
นครปฐม	388,284	7.02	28
นนทบุรี	667,539	12.07	48
ปทุมธานี	585,814	10.59	42
สมุทรปราการ	655,631	11.85	47
สมุทรสาคร	69,470	1.26	5
สมุทรสงคราม	278,188	5.03	20
รวม	5,532,200	100.00	400

ที่มา: กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย รายงานสถิติจำนวนประชากรและบ้านรายจังหวัด (2561)

ในการเลือกพื้นที่ในการศึกษา ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ที่มีปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นร้อยละ 50 ของปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) และกรุงเทพมหานครยังเป็นเขตพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ ซึ่งมีจำนวน 5,686,646 คน (ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร, 2559) รวมทั้งกรุงเทพมหานครยังเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ประกอบ

ไปด้วยอุตสาหกรรมโรงงาน ร้อยละ 21.23 ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาการจัดการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษา ถ่านอัลคาไลน์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังรายละเอียดตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการสร้างแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามตามขอบเขตของการวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่างดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยมีคุณสมบัติ รายละเอียดดังนี้ 1) มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาเอกและ 2) มีประสบการณ์ด้านการศึกษา อย่างน้อย 3 ปี พิจารณาความเหมาะสมของข้อคำถามการสัมภาษณ์ ส่วนแบบสอบถามนั้นดำเนินการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) เท่ากับ 1.00 และนำแบบสอบถามที่ผ่านการแก้ไขแล้วไปทดลอง (Try Out) กับผู้ปกครอง นักเรียน อนุบาลโรงเรียนพัฒนา จำนวน 30 คน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือโดยการวิเคราะห์หาค่าความเที่ยง (Reliability) ด้วยวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) โดยมีค่าความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สูง โดยมีค่าความเที่ยงอยู่ระหว่าง .816 ถึง .910 แสดงว่าเครื่องมือวัดมีคุณภาพด้านความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ดีมาก การดำเนินการข้างต้นสามารถสรุปการดำเนินงานวิจัย รายละเอียดตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน เครื่องมือ และผลที่คาดว่าจะได้รับตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ (Objective)	ขั้นตอน (Process)	เครื่องมือที่ใช้ใน การวิเคราะห์ (Analysis Tools)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)
1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย	1) ทบทวนวรรณกรรม เอกสารงานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย 2) ออกแบบสอบถามเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย และประเมินศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย ตามกรอบแนวคิด Green SCOR Model ให้กับผู้เชี่ยวชาญประเมิน 3) ส่งแบบสอบถามให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องทำการประเมิน 4) นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ 5). สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับขยะอันตราย	- แบบสอบถาม - หลักการทางสถิติ	- ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย - ทราบถึงศักยภาพในการจัดการขยะอันตรายตั้งแต่ผู้ผลิต/ผู้นำเข้า ผู้จำหน่าย ผู้รวบรวม ผู้คัดแยก ผู้ทำการรีไซเคิล จนถึงผู้ทำการกำจัด
2) เพื่อประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย	1. ทบทวนวรรณกรรม เอกสารงานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับ 2. สัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องๆ เกี่ยวกับต้นทุนการจัดการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับโดยใช้แบบสอบถาม 3. สํารวจพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยการสังเกต และสัมภาษณ์ 4. นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์แบบสอบถาม และการสำรวจพื้นที่มาใช้ประเมินต้นทุน ด้วยวิธี ABC Analysis	- แบบสอบถาม - หลักการบัญชีบริหาร - Activity-Based Costing (ABC)	- ต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย

วัตถุประสงค์ (Objective)	ขั้นตอน (Process)	เครื่องมือที่ใช้ใน การวิเคราะห์ (Analysis Tools)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)
3) เพื่อออกแบบระบบ โลจิสติกส์ย้อนกลับ ของขยะอันตราย	1. ทบทวนวรรณกรรม เอกสาร งานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องกับ ระบบ โลจิสติกส์ย้อนกลับ (เดิม) ของขยะ อันตราย 2. สัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ที่มีส่วน เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับการจัดการ โลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะ อันตราย รวมถึงนโยบาย มาตรการ และวิธีการจัดการขยะอันตราย โดย ใช้แบบสอบถาม 3. สำรวจพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และ ปริมณฑล โดยการสังเกต และการ สัมภาษณ์ 4. สำรวจพื้นที่ต่างประเทศ โดยการสังเกต และการสัมภาษณ์ 5. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากการ ทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์ เชิงลึกผู้ที่มี ส่วนเกี่ยวข้อง รวมทั้งการสำรวจ พื้นที่ทั้งในและต่างประเทศ มาทำ การวิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ Green SCOR Model เพื่อ ออกแบบระบบ โลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย	- Delphi Method - หลักการทางสถิติ	- ข้อมูลการจัดการโลจิสติกส์ ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย ประเภทผ่านอัลคาไลน์และ หลอดฟลูออเรสเซนต์ใน ปัจจุบันของไทย - นโยบาย มาตรการและ รูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย ในประเทศ และต่างประเทศ - ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ ของขยะอันตราย
4) เพื่อนำเสนอ มาตรการมุ่งเน้นในการ จัดการโลจิสติกส์ ย้อนกลับสำหรับขยะ อันตราย	1. นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาทำการ วิเคราะห์เชิงคุณภาพ เพื่อนำเสนอ มาตรการมุ่งเน้นในการจัดการ โลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะ อันตราย	- Qualitative Analysis	- มาตรการมุ่งเน้นในการ จัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับขยะอันตราย

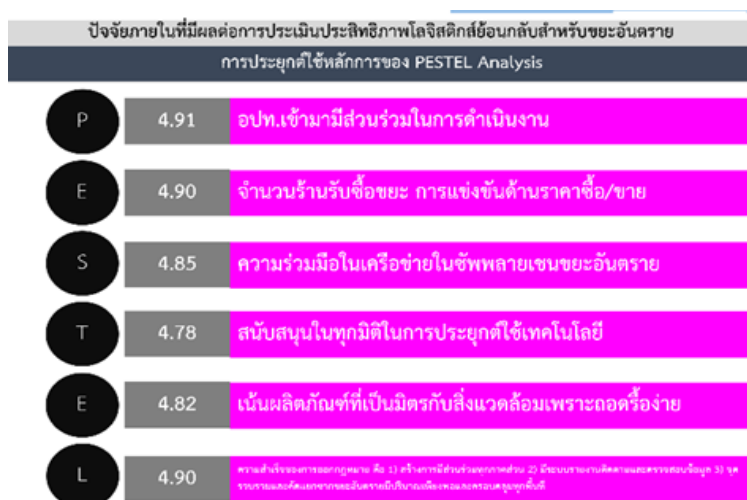
4. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการขยะอันตรายที่มีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดผลการวิจัย
มีรายละเอียด ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย

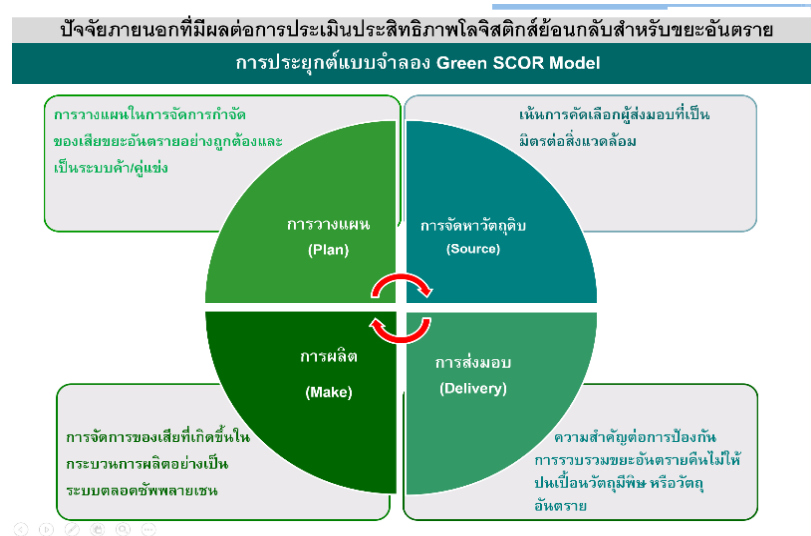
การศึกษานี้จึงให้ความสำคัญต่อการจัดการทั้งภายในและภายนอกองค์กรของภาครัฐ และหน่วยงานต่างๆ ผู้ผลิต โรงงานรีไซเคิล รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกำจัดซากผลิตภัณฑ์ ดังนี้

1. ปัจจัยภายในองค์กรที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากผลิตภัณฑ์ฯ ที่ได้ข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญและการเก็บข้อมูลกับผู้บริโภค ประกอบด้วย 1) ด้านโครงสร้างและนโยบาย ควรให้ความสำคัญนโยบายของอุตสาหกรรมที่ครอบคลุมเป็นหนึ่งเดียวกันด้านการบริการและสินค้า เน้นเรื่องของจำนวนซากฯ ที่ทำการ สนับสนุนบุคลากรให้มีความสามารถในการกระบวนการและทักษะแรงงานสิ่งสำคัญเกี่ยวกับประสิทธิภาพทางการเงิน คือ การจัดการป้องกันการขาดเงินลงทุน ส่วนด้านวัสดุทรัพยากร ควรความตระหนักในการบริหารจัดการทรัพยากร และด้านการบริหารจัดการ ในประเทศไทยยังขาดผู้เชี่ยวชาญในการบริหารจัดการที่ต้องเร่งสนับสนุนตามรูปที่ 4 ผลการศึกษาปัจจัยภายในองค์กร



รูปที่ 4 ผลการศึกษาปัจจัยภายในองค์กร

2. ปัจจัยภายนอกองค์กร โดยนโยบายและการเมือง ภาครัฐควรส่งเสริมการปรับปรุงประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมและถอดรื้อ โดยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงานในด้านเศรษฐกิจ ควรพิจารณาจำนวนร้านรับซื้อขยะ การแข่งขันด้านราคาซื้อ/ขายแรงจูงใจและสวัสดิการส่งผลกระทบต่อการจัดขยะในด้านสังคมให้ความสำคัญกับความร่วมมือในเครือข่ายผู้มีส่วนเกี่ยวข้องตั้งแต่ผู้จัดหาวัตถุดิบจนถึงผู้บริโภค ส่วนด้านเทคโนโลยีควรสนับสนุนในทุกมิติในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีในการกำจัด ด้านสิ่งแวดล้อม ควรมีการกำหนดประเภทผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม แสดงให้เห็นว่าถอดรื้อง่าย ใช้งานต้องทึ่งอย่างไร เพื่อเป็นแรงจูงใจแก่ผู้ผลิต และด้านกฎหมาย ความสำเร็จของการออกกฎหมายมาบังคับใช้จัดการซากขยะอันตราย คือ 1) สร้างกระบวนการมีส่วนร่วมทุกภาคส่วน 2) มีระบบรายงานติดตามและตรวจสอบข้อมูล 3) จุดรวบรวมและคัดแยกซากขยะอันตรายมีปริมาณเพียงพอและครอบคลุมทุกพื้นที่ตามรูปที่ 5 ผลการศึกษาปัจจัยภายนอกองค์กร



รูปที่ 5 ผลการศึกษาปัจจัยภายนอกองค์กร

ดังนั้น การจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse Logistics) เป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการบริหารจัดการขยะอันตรายอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีกระบวนการในการนำสินค้าที่ด้อยคุณภาพหรือผ่านการใช้งานจากผู้บริโภคแล้วกลับคืนสู่ผู้ผลิตหรือการกำจัด โดยอาศัยระบบการจัดการอย่างเป็นระบบ เป็นลักษณะการมองย้อนกลับไปในกระบวนการโลจิสติกส์ เพื่อสนับสนุนให้เพิ่มสัดส่วนปริมาณเพียงพอและคุ้มค่าต่อกระบวนการผลิต

ตอนที่ 2 ผลการศึกษาประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย

การประเมินต้นทุนสำคัญของระบบการจัดการซากผลิตภัณฑ์ พบว่า คณะผู้วิจัยจึงมีข้อเสนอเบื้องต้นว่าจะให้มีการกำหนดค่าธรรมเนียมผลิตภัณฑ์ให้คำนวณจากต้นทุนเฉลี่ยในการจัดการซากของผลิตภัณฑ์ประเภทถ่านอัลคาไลน์ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยอาจจะมีการแบ่งประเภทย่อยตามขนาดของผลิตภัณฑ์ตามสมควรดังที่ได้นำเสนอในรายงานนี้ แต่ไม่ต้องมีการแบ่งแยกให้แตกต่างกันไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของต้นทุนในการดำเนินการศึกษาโลจิสติกส์ย้อนกลับของผลิตภัณฑ์

องค์ประกอบของต้นทุนโลจิสติกส์	ประเภทของข้อมูล
ค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวม	- ขนาดของซากผลิตภัณฑ์ (กว้าง x ยาว x สูง)
ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง	- ขนาดของซากผลิตภัณฑ์ (กว้าง x ยาว x สูง) - น้ำหนักของซากผลิตภัณฑ์
ค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิล	- น้ำหนักของซากผลิตภัณฑ์ - ความซับซ้อน/ ระยะเวลาในการที่ใช้ในการถอดรื้อ - ประเภทและประมาณวัสดุรีไซเคิล - สารอันตรายภายในซากผลิตภัณฑ์

ต้นทุนของศูนย์รวบรวมและคัดแยก	
ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)	
ค่าก่อสร้างอาคารและพื้นที่ร่อนนอก	ค่าสาธารณูปโภคและวัสดุสิ้นเปลือง
ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์	การกำหนดอัตราค่าจ้างของบุคลากร
ต้นทุนผันแปร (Variable Cost)	
ต้นทุนการจัดตั้งและการเก็บรวบรวม	
ต้นทุนรวม (Total Cost)	
อาคาร	เงินเดือนบุคลากร
ค่าเครื่องมือ	ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์

การคำนวณต้นทุนรวมและต้นทุนเฉลี่ยซากผลิตภัณฑ์ของระบบและด้านอัลคาไลน์

การประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย

อย่างไรก็ตาม สามารถสรุปค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมรถ ถ่านอัลคาไลน์ จำนวน .013 บาท และหลอดฟลูออเรสเซนต์ จำนวน .066-.628 บาท ส่วนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ระยะไม่เกิน 40 กม. และใช้รถ 6 ล้อ คำนวณที่รถ ถ่านอัลคาไลน์ จำนวน .011 บาท และหลอดฟลูออเรสเซนต์ทุกขนาด จำนวน .150-.459 บาท และค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิล โดยพิจารณารูปแบบของโรงงานรูปแบบที่ 2 ใช้เครื่องบดและแยกชิ้นส่วนอย่างเดียว ถ่านอัลคาไลน์ จำนวน .305 บาท และหลอดฟลูออเรสเซนต์ทุกขนาด จำนวน .084-.148 บาท ดังนั้น ต้นทุนถ่านอัลคาไลน์ จำนวน 40 สตางค์ต่อชิ้น และหลอดฟลูออเรสเซนต์ทุกขนาดเฉลี่ย จำนวน 1 บาท

ตอนที่ 3 เพื่อออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตราย

ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตรายโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทถ่านอัลคาไลน์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ส่งเสริมสนับสนุนช่วงของกระบวนการในการรวบรวมจัดเก็บจัดขยะกลับไปในกระบวนการรีไซเคิลหรือส่วนที่คัดแยก โดยดำเนินการประกอบด้วย 1) กำหนดต้นทางรวบรวมจากพฤติกรรมของแหล่งกำเนิดขยะหรือผู้บริโภคจากบ้าน 2) ทำการรวบรวมขยะอันตรายประเภทถ่านอัลคาไลน์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ในบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมพร้อมนำส่งต่อ 3) แจ้งข้อมูลรายละเอียดผ่านระบบ “4R BIKE” สายด่วนของระบบ Application และ 4) สามารถประยุกต์ปรับเปลี่ยนให้เป็นการวิ่งเที่ยวขาไป-กลับ จุดสำคัญของการบริการ คือการลดการวิ่งรถเที่ยวเปล่า (Backhauling) ได้โดยรับของที่ไม่ต้องการจากผู้บริโภคมารวบรวมไว้ส่งต่อไปให้นักเขตและจุดอื่น ๆ ที่กำหนดให้บริการ สามารถ Pooling การใช้งานร่วมกับเครือข่ายพันธมิตร เป็นต้น

ตอนที่ 4 ผลการศึกษามาตรการจูงใจในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย

มาตรฐานการจูงใจที่ส่งผลต่อความสำเร็จควรให้ความสำคัญต่อการจัดการกิจกรรมรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียอันตรายและไม่มีตลาดรับซื้อ โดยการกระตุ้นให้แรงจูงใจและกดดันให้ผู้ปฏิบัติงานดำเนินการเก็บขนซากผลิตภัณฑ์แยกจากขยะมูลฝอยอันตรายอย่างจริงจังและช่วยประชาสัมพันธ์ขอความร่วมมือจากประชาชนในการคัดแยกขยะซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาโดยการสำรวจข้อมูลพื้นฐานของผู้บริโภคการส่งผลกระทบต่อโลจิสติกส์ย้อนกลับ พบว่า ส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง อายุระหว่าง 26-40 ปี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ประกอบอาชีพลูกจ้างเอกชน ใน 1 ครอบครัวมีจำนวนสมาชิก ระหว่าง 3-8 คน มีประสบการณ์ไม่สัมผัสสารอันตราย แต่ยังพบว่าประชาชนที่เคยสัมผัสสารอันตรายส่งผลการเกิดบาดแผล ทุกวันนี้ผู้บริโภครับข้อมูลข่าวสารและเริ่มตระหนักถึงอันตรายมากขึ้น อีกทั้ง ยังไม่ทราบข้อมูลในการทำงานของเจ้าหน้าที่จัดระบบเก็บรวบรวมและคัดแยก ส่วนประชาชนที่ทราบจะทราบกำหนดวันเฉพาะสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลขยะอันตราย กรณีกำหนดจุดทิ้งซากขยะอันตรายผู้บริโภคอยู่ห่างจากร้านค้าหรือห้างสรรพสินค้า ระยะทางระหว่าง 0.51-5 กิโลเมตร และระหว่างบ้านกับร้านค้าปลีก ประกอบด้วย ร้านสะดวกซื้อ 7-11, Lotus Express, Big C Mini, Family Mart ฯลฯ และโชห่วยที่ใกล้ที่สุดที่ทานไปซื้อผลิตภัณฑ์ ระยะทาง .51-3 กิโลเมตร หรือกำหนดให้ระยะใกล้และสะดวกของผู้บริโภค ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดนอกเหนือจากแรงจูงใจเรื่องเงิน คือ ความสะดวกในการทิ้งซากผลิตภัณฑ์การให้ผู้ผลิตและผู้นำเข้าที่มีความพร้อมเข้ามารับผิดชอบและมีบทบาทในการจัดการซากผลิตภัณฑ์ของตนเองตามหลักขยายความรับผิดชอบของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility: EPR) ด้วยการสนับสนุนของภาคเอกชนจะมีประสิทธิภาพและคล่องตัวในการจัดการสูง นอกจากนี้ ผู้ผลิตและผู้นำเข้ายังมีผลประโยชน์โดยตรงในการควบคุมไม่ให้ต้นทุนการจัดซากผลิตภัณฑ์สูงเกินไปโดยเฉพาะต้นทุนการขนส่งจากร้านค้า ห้างสรรพสินค้า ร้านสะดวกซื้อ และอื่น ๆ เคลื่อนย้ายมายังศูนย์รวบรวมและคัดแยก และทำการขนส่งซากผลิตภัณฑ์ไปยังโรงงานรีไซเคิล ยิ่งผู้ผลิตมีช่องทางที่จะรวมการเรียกคืนสินค้ากับการขายสินค้าใหม่ในลักษณะของการนำสินค้าเก่ามาแลกส่วนลดซื้อสินค้าใหม่ (Trade-in) ซึ่งในกรณีนี้ไม่เพียงแต่จะทำให้การรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณที่มากขึ้นค้ำค่าต่อการนำไปโรงงานรีไซเคิล ยังกระตุ้นให้ยอดขายเพิ่มขึ้นอีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงมหาดไทย (2561). ระบบสถิติทางการทะเบียนของกรมการปกครอง. [Access on Mar 2, 2018]. Available from: <http://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statTDD/>
- [2] กรุงเทพมหานคร. (2559). รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2558-2559. กรุงเทพฯ: อักษรไทย (น.ส.พ. พ้าเมืองไทย).
- [3] กรมควบคุมมลพิษ. (2560). คู่มือการปฏิบัติงานของเจ้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการบริหารจัดการของเสียอันตรายชุมชน. กรุงเทพฯ: สำนักกากของเสียและสารอันตราย.
- [4] _____ (2561). โครงการเรียกคืนซากหลอดฟลูออเรสเซนต์. กรุงเทพฯ: ส่วนของเสียอันตราย สำนักจัดการของเสียและอันตราย.
- [5] Macmillan, H. (1971). Riding the storm, 1956-1959. Macmillan Children's Books.

แนวทางการพัฒนากรีนโลจิสติกส์ในการบริหารจัดการภาคการขนส่งสินค้า

The development of green logistics management in the transport sector

ชลิดา โพธิ์มา

Chalida Pohma

อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

46 ถนนเจริญสุขทวงศ์ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

E-mail : sutham13@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแนวทางการพัฒนากรีนโลจิสติกส์ในการบริหารจัดการภาคการขนส่งสินค้าแบบสินค้าเที่ยวกลับ โดยใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทำการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมผ่านโปรแกรมที่หาค่าที่เหมาะสม และวิธีการรับส่งสินค้าที่เหมาะสม ประเด็นการขนส่งสินค้าในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ที่มีปริมาณงาน 45 เปอร์เซ็นต์โดยมีจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ นราธิวาส เป็นต้น ทำให้เกิดการขนส่งที่มีต้นทุนสูง และใช้รถร่วมเป็นจำนวนมาก ทำให้ทางบริษัทไม่สามารถควบคุมการวิ่งรถไปกลับเที่ยวเปล่า และค่าใช้จ่ายของรถร่วม ทำให้ทางบริษัทเสียค่าใช้จ่ายระยะทางขากลับ ผู้วิจัยแก้ปัญหาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวางแผนการจัดการขนส่งใหม่ในเขตภาคใต้ โดยต้องการให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และจำนวนรถร่วมให้น้อยที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น พิจารณาให้กับการจัดการขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีการจัดส่งสินค้าทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยจากรูปแบบการขนส่งเดิมส่งตรงถึงลูกค้าตามความต้องการทำให้เมื่อมีการขนส่งเกิดขึ้นทางบริษัทกรณีศึกษาทำการจัดรถร่วมขนส่งไปยังจุดต้นทางทันที ซึ่งทำให้การขนส่งรูปแบบนี้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูง และใช้รถร่วมเป็นจำนวนมาก จึงทำการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวแบบทั่วไปของโปรแกรมเชิงเส้นตรงของปัญหาการขนส่งผ่าน

ผลทดลองพบว่า จากการขนส่งรูปแบบเดิมต้นทุนค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 588,000 บาท และใช้รถร่วม 20 คัน เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบที่สามารถมีสินค้าเที่ยวเปล่า และที่รวบรวมสินค้ามีค่าใช้จ่ายของการขนส่งอยู่ที่ 380,000 บาท สามารถประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และใช้จำนวนรถร่วม 12 คัน ลดจำนวนรถร่วมได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และลดพลังงานเชื้อเพลิงได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ที่มาจากจำนวนรถร่วมที่ลดลง ผลการศึกษานี้ สามารถประยุกต์ใช้กับงานขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาอื่น ๆ ที่มีการขนส่งคล้ายคลึงกันต่อไป

คำสำคัญ: กรีนโลจิสติกส์, ขนส่งสินค้าแบบสินค้าเที่ยวกลับ

ABSTRACT

This research aims to develop guidelines for green logistics management in the cargo sector and its return(backhaul). Using mathematical modeling. And find the right answer through a program for a reasonable fee. And how to pick the right product. The cargo area in the southern province where 45 percent of the province. Krabi, Nakhon Si Thammarat, Narathiwat, and the resulting transportation costs are high. And used a lot. Making the company cannot control the car to run back empty. And the cost of car sharing. The company makes cost a long way back. The researchers solved the problem by creating a mathematical model. The new transportation management plan for the Southern District. To keep costs low by most. And the number of car sharing to a minimum.

The mathematical model is built. Considering the freight management for a company case study, which has toured the ship and return. The original form of transport direct to the customer needs to make a transit occurs when a company case study conducted jointly arrange transportation to the point of origin immediately. This format, which makes transportation costs are high. And used a lot. So the solution using a general linear programming problem of transit through.

The experimental results showed that the original form of transportation cost is 588,000 baht and used cars, 20 cars compared to modes of transportation that can be used empty. And consolidation costs of transport are at 380,000 baht to save costs by up to 35 percent and the number of cars featured 12 cars, reducing the number of car share to 60 percent and reduces energy by up to 60 percent. The number of car-share decline. The results of this study It can be applied to the transportation of other case studies that are similar transport.

Keywords: green logistics, backhaul logistic

1. บทนำ

ประเทศไทยให้ความสำคัญ กับการพัฒนาระบบโลจิสติกส์เพื่อสนับสนุนการเป็นศูนย์กลาง การค้า การบริการ และการลงทุนในภูมิภาค รวมทั้งสนับสนุน การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ ซึ่งสำนักงาน คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) มีภารกิจในการจัดทำแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทยเป็น แผนระยะปานกลาง 5 ปี เพื่อเป็นกรอบขับเคลื่อนการพัฒนา ระบบโลจิสติกส์สู่การปฏิบัติให้เกิดผลสัมฤทธิ์ โดยแผนยุทธศาสตร์ ฯ ปัจจุบันเป็นแผนฉบับที่ 3 กำหนดระยะเวลาช่วงปี พ.ศ. 2560-2564 ภายใต้กรอบยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและ สังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 - 2564) มีวัตถุประสงค์ในการสร้าง ความเข้มแข็งให้กับผู้ประกอบการ การยกระดับประสิทธิภาพระบบการอำนวยความสะดวกทางการค้า และการพัฒนา ปัจจัยสนับสนุน โดยแนวทางการขับเคลื่อนการพัฒนาระบบโลจิสติกส์จะเป็นความร่วมมือระหว่างหน่วยงาน ที่เกี่ยวข้องและภาคส่วนการพัฒนาด้านโลจิสติกส์ [1]

การมุ่งสู่โลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อมหรือ กรีนโลจิสติกส์ นับเป็นยุทธศาสตร์บริบทหนึ่งที่ประเทศไทยควรเร่งสนับสนุนให้ผู้ประกอบการไทยเตรียมความพร้อมเพื่อพัฒนาความสามารถในการบริหารระบบโลจิสติกส์ให้เห็น ผลสำเร็จได้ อย่างเป็นรูปธรรม เพื่อสร้างความได้เปรียบด้านการแข่งขันที่ในอนาคตจะทวีความเข้มข้นขึ้นด้วย มาตรการการกีดกันทางการค้าในรูปแบบต่าง ๆ เราจึงควรบริหารจัดการห่วงโซ่อุปทานให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้ สอดคล้องกับกติกาใหม่ที่ดีออกไปกับกระแสสิ่งแวดล้อมโลก ทำให้ภูมิภาค อาเซียนกลายเป็นตลาดใหญ่ที่น่าสนใจจากนักลงทุนทั่วโลกรวมถึงเหล่าประเทศสมาชิกอาเซียนด้วยกันเอง จากข้อตกลงทางการค้า การลงทุน ที่เอื้อให้เกิดผลประโยชน์ต่อเศรษฐกิจของภูมิภาคโดยรวม ประเทศไทย เองควรเร่งพัฒนาศักยภาพโดยเฉพาะด้านโลจิสติกส์ เพื่อกลายเป็นศูนย์กลางการกระจายสินค้าให้กับกลุ่มประเทศอาเซียน และตลาดโลกให้ได้ [2]

ในปัจจุบันแต่ละองค์กรมีการบริหาร และปรับปรุงกระบวนการโลจิสติกส์ทุกชั้นตอนให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยหันมาสนใจรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น บริษัทที่ทำการศึกษานี้ เป็นผู้ให้บริการขนส่งสินค้าทางบก โดยรถบรรทุกทุกชนิด ทั้งรถกระบะ 4 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ รถบรรทุก 10 ล้อ รถบรรทุกชนิดหัวลากกึ่งพ่วง บริษัทตั้งอยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ มีจำนวนรถบรรทุก และมีรถรวม 50 คัน ให้บริการกลุ่มลูกค้าที่หลากหลาย ซึ่งมีการขนส่งอยู่หลายจังหวัดและมีปริมาณงานมากกว่า 55 เพอร์เซ็นต์ อยู่ในพื้นที่ให้บริการจังหวัดระยอง ชลบุรี จะเชิงเตรา นครปฐม ภาคตะวันออกเฉยงเหนือ และในพื้นที่จังหวัดทางภาคใต้ที่มีปริมาณงาน 45 เพอร์เซ็นต์โดยมีจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ นราธิวาส เป็นต้น ทำให้เกิดการขนส่งที่มีต้นทุนสูง และใช้รถรวมเป็นจำนวนมาก ทำให้ทางบริษัท

ไม่สามารถควบคุมการวิ่งรถไปกลับเที่ยวเปล่า และค่าใช้จ่ายของรถรวม ทำให้ทางบริษัทเสียค่าใช้จ่ายระยะทางขากลับ เพราะรถบรรทุกแต่ละคันจะทำการจัดส่งได้แค่ในแต่ละงานเพื่อปิดงานนั้นๆ ทำให้ต้องส่งคันต่อคันในงานแต่ละงาน เกิดการใช้รถรวมจำนวนมาก และไม่คุ้มทุนกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลต้นทุนสูงขึ้น จำนวนรถรวมใช้มากขึ้น และจำนวนรถรวมที่เพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดมลภาวะสิ่งแวดล้อมด้านพลังงานเชื้อเพลิงที่ยากต่อการควบคุม จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะหาแนวทางในการพัฒนาของการลดการสูญเสียของเที่ยวขนส่งขากลับที่ไม่ทำให้เกิดรายได้ ลดจำนวนรถบรรทุก ลดภาวะสิ่งแวดล้อม หรือเป็นส่วนหนึ่งของกรีนโลจิสติกส์ ศึกษาและรวบรวมข้อมูลในการขนส่งสินค้า แนวทางการประหยัดพลังงานในภาคการขนส่ง และแนะนำผู้ประกอบการให้มีการปรับปรุงให้เกิดการประหยัดพลังงาน หาแนวทางการลดการจัดส่งสินค้าเที่ยวเปล่า (Backhaul) ที่มีประสิทธิภาพ และพัฒนาระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมในธุรกิจด้านโลจิสติกส์ ในการวิจัยนี้จะจัดเส้นทางในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ ซึ่งจะหาพื้นที่เพื่อเป็นจุดรวบรวมสินค้า และนำสินค้าไปยังต้นทางปลายทาง ที่จะทำให้ไม่เกิดการสูญเสียของการขนส่ง การแก้ปัญหาครั้งนี้ทำโดยใช้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และทำการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมผ่านโปรแกรมที่หาค่าที่เหมาะสม และวิธีการรับส่งสินค้าที่เหมาะสม ซึ่งผู้วิจัยหวังว่าผลที่ได้หรือวิธีการที่ได้จะสามารถเป็นทางเลือกหนึ่งได้เป็นอย่างดี

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกำหนดตำแหน่งฐานปล่อยรถบรรทุกโดยพิจารณาปริมาณสินค้าที่บรรทุก ทั้งเที่ยวไปและกลับ กรณีศึกษาผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ งานวิจัยนี้เสนอการกำหนดฐานการปล่อยรถบรรทุกที่เหมาะสมให้กับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีการขนส่งสินค้าทั้งเที่ยวไป (linehaul) และเที่ยวกลับ (backhaul) โดยอาศัยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากปัญหาที่ฐานปล่อยรถปัจจุบันตั้งอยู่ห่างจากตำแหน่งของลูกค้า ทางบริษัทกรณีศึกษาจึงต้องการหาตำแหน่งในการสร้างฐานปล่อยรถใหม่อีกแห่ง เพื่อลดระยะทางในการขนส่งทั้งหมด โดยมีทางเลือก 2 แห่ง ได้แก่ สระบุรี และชัยภูมิ ผู้วิจัยทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เส้นทางขนส่งรวมที่มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร โดยมีเงื่อนไขที่จะต้องจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าเที่ยวไปและจากนั้นจะต้องรับสินค้าใหม่กลับมายังจุดปล่อยรถในการขนส่งเที่ยวกลับ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ 1) กรณียอมให้เปิดฐานปล่อยรถได้ทั้ง 2 ฐานที่สระบุรีและชัยภูมิ 2) กรณีเลือกฐานสระบุรีฐานเดียว 3) กรณีเลือกฐานชัยภูมิฐานเดียว ทำการค้นหาคำตอบด้วยโปรแกรมการหาค่าที่เหมาะสม (OPL 12.4) พบว่า ในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ให้ผลลัพธ์เหมือนกัน คือ ควรสร้างฐานปล่อยรถแห่งใหม่ที่ฐานสระบุรีเพียงแห่งเดียว โดยต้นทุนการขนส่งรวมเท่ากับ 14,525,948 บาท เมื่อเทียบกับต้นทุนปัจจุบันที่ใช้ฐานปล่อยรถแห่งเดียวสามารถลดต้นทุนได้เท่ากับ 1,997,084 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 12.45% ในกรณีที่ 3 เมื่อจัดเส้นทางขนส่งโดยปล่อยรถที่ฐานชัยภูมิอย่างเดียว มีต้นทุนการขนส่งรวมเท่ากับ 14,756,471 บาท โดยสามารถลดต้นทุนได้เท่ากับ 1,836,561 บาทต่อปี หรือคิดเป็น 11.06% เมื่อเทียบกับต้นทุนปัจจุบัน ดังนั้น ทางบริษัทควรสร้างฐานปล่อยรถแห่งใหม่ที่สระบุรี เนื่องจากสามารถลดต้นทุนการขนส่งรวมได้มากที่สุดหากเปิดใช้ฐานแห่งนี้ [3]

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาศักยภาพผู้ให้บริการด้านการขนส่งนักท่องเที่ยวด้วยความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อรองรับการเปิดเส้นทางโลจิสติกส์อาเซียน การวิจัยวัตถุประสงค์ คือ เพื่อวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาศักยภาพผู้ให้บริการด้านการขนส่งนักท่องเที่ยวด้วยการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อรองรับการเปิดเส้นทางโลจิสติกส์อาเซียน และเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลใช้วิธีการวิจัยเชิงปริมาณ และเชิงสำรวจ กับข้อมูลเชิงประจักษ์ ประกอบด้วยตัวแปรแฝงกับข้อมูลเชิงประจักษ์ ประกอบด้วยตัวแปรแฝง 7 ตัว ได้แก่ ปัจจัยความพร้อมด้านทรัพยากร ปัจจัยด้านการบริการนักท่องเที่ยว ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านคุณภาพชีวิตบุคลากร และปัจจัยด้านต้นทุนการขนส่ง การศึกษาครั้งนี้ใช้การวิจัยเชิงปริมาณ โดยทำการวิจัยเชิงประจักษ์ ใช้แบบสอบถามเป็น เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลจาก กลุ่มผู้บริหารที่อยู่ในธุรกิจภาคการขนส่งทางบกในประเทศไทย จำนวน 410 คน ผลการวิจัยพบว่าความพร้อมด้านทรัพยากร ปัจจัยด้านการบริการ ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านคุณภาพชีวิตบุคลากร และปัจจัยด้านการขนส่ง มีอิทธิพลทางตรงเชิงบวกที่มีต่อศักยภาพผู้ให้บริการด้านการขนส่ง

นักทอ่งที่เี่ยวด้วยความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ยกเว้นปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ และสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะต่อธุรกิจการขนส่งทางบกในประเทศไทยควรมีการจัดระบบบริหารจัดการการขนส่ง โดยการนำการขนส่งนักทอ่งที่เี่ยวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มาใช้ในการประกอบธุรกิจอันจะเป็นผลดีต่อการภาพลักษณ์องค์กร และเป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมสำหรับภาครัฐควรมีมาตรการที่เข้มงวดสำหรับการจัดระเบียบการขนส่งด้วยรถบรรทุกให้มีมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น [4]

แรงขับเคลื่อนในการประยุกต์ใช้การจัดการโลจิสติกส์สีเขียวสำหรับผู้ประกอบการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาถึงระดับความรู้ความเข้าใจของผู้ประกอบการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ ในด้านการบริหารจัดการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และปัจจัยที่เป็นแรงขับเคลื่อนให้ผู้ประกอบการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ในการนำการจัดการโลจิสติกส์สีเขียวมาประยุกต์ใช้ จากข้อมูลที่ได้รวบรวมด้วยแบบสอบถามที่มีค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.836 กับผู้ประกอบการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยจำนวน 214 ราย และ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ทั้งสถิติเชิงพรรณนา และสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor analysis) พบว่าผู้ประกอบการมีความรู้ความเข้าใจเฉลี่ยในระดับ ปานกลาง โดยผู้ประกอบการประเภทอาหารมีความรู้ความเข้าใจสูงสุด ขณะที่ผู้ประกอบการประเภทเครื่องดื่มมี ความรู้ความเข้าใจน้อยที่สุด และผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบ สามารถจัดกลุ่มปัจจัยที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้ ผู้ประกอบการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ในการประยุกต์การจัดการโลจิสติกส์สีเขียวมาใช้ในองค์กรได้ 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านทัศนคติขององค์กรต่อการจัดการโลจิสติกส์สีเขียว ปัจจัยด้านความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านกฎหมายและระเบียบปฏิบัติ [5]

การนำแนวคิดกรีนซัพพลายเชนมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในบริษัทในการจัดการให้มีประสิทธิภาพ การนำเอาวิธีการจัดการโซ่อุปทานมาประยุกต์ใช้สามารถช่วยให้ธุรกิจประสบความสำเร็จได้ในขณะเดียวกันผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับตัวเองให้เป็นกรีนซัพพลายเชน โดยเป็นการผนวกแนวคิดระหว่างแนวคิดด้านการบริหารจัดการซัพพลายเชนมารวมกับแนวคิด การคำนึงถึงผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการนำแนวคิดนี้มาใช้นั้น ก็จะช่วยให้เกิดประโยชน์ทั้งกับองค์กร และสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีให้กับสินค้า และองค์กรอีกด้วย ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดผลการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมขององค์กร โดยใช้ตัวชี้วัดผลการปฏิบัติงาน และระบบการประเมินผลสิ่งแวดล้อมตามขั้นตอนการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO14001: 2004 ซึ่งมีแนวการจัดการแบบ Plan-Do-Check-Act พร้อมทั้งนำเสนอแผนงานเพื่อปรับปรุงผลการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมของบริษัทให้ดีขึ้น โดยผลการศึกษาการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งพบว่าผลการปฏิบัติงานสิ่งแวดล้อมด้านมลพิษนั้น ผ่านเกณฑ์ทุกค่า มีเพียงแต่ผลของการปฏิบัติงานด้านการใช้ทรัพยากรนั้นบางค่าไม่ผ่านเกณฑ์ที่บริษัทฯ กำหนดซึ่งถ้าหากองค์กรมีนโยบายในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจะสามารถลดการใช้ทรัพยากรลงได้ และผลจากการศึกษาการปฏิบัติงานดังกล่าวจึงขอเสนอแผนงานเพื่อปรับปรุงการปฏิบัติงานด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประยุกต์ใช้แนวคิดด้าน Clean Technology ก็คือ การศึกษาติดตั้ง Insulator ของ Heater Barrel ในเครื่องฉีดพลาสติก จะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 134,392.5 kWh ต่อปีและอีกหนึ่งแผนงานที่ประยุกต์ใช้แนวคิดการจัดการกรีนซัพพลายเชน (3Rs) เพื่อลดการใช้กระแสไฟฟ้า และเพิ่มแสงสว่างในการทำงานให้ดีขึ้น โดยการเปลี่ยนหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) T836 วัตต์เป็น LEDT816 วัตต์ พบว่า สามารถลดปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าได้ ประมาณ 181,500 kWh ต่อปี [6]

ความสามารถการจัดการโลจิสติกส์สีเขียวที่มีผลต่อการตอบสนองความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย และผลการดำเนินงานของอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทย การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบปัจจัยสาเหตุ ได้แก่ วิสัยทัศน์ของผู้นำการเปลี่ยนแปลง ความตระหนักถึงคุณค่าทางสังคม ความคาดหวังของผู้มีส่วนได้เสียที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยผล ได้แก่ การตอบสนองความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย โดยผ่านตัวแปรกลาง ความสามารถในการจัดการโลจิสติกส์สีเขียว รวบรวมข้อมูล โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือการศึกษา กับผู้บริหารโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทย 194 บริษัท สถิติที่ใช้เป็นการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบพหุคูณ และวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ ผลวิจัยพบว่า วิสัยทัศน์ผู้นำ

การเปลี่ยนแปลง ความตระหนักถึงคุณค่าทางสังคมและความคาดหวังของผู้มีส่วนได้เสียส่งผลกระทบต่อเชิงบวกกับความสามารถ การจัดการโลจิสติกส์สีเขียว 5 มิติ คือ 1) การสร้างพันธมิตรร่วมกันด้านอุตสาหกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม 2) การมุ่งเน้น การจัดการกระบวนการโลจิสติกส์สีเขียวเชิงบูรณาการ 3) การประสานความร่วมมือระหว่างกิจการเพื่อชุมชน 4) การประยุกต์ใช้ เทคโนโลยีโลจิสติกส์เพื่อสิ่งแวดล้อมและ 5) การสร้างคุณค่าการตลาดเชิงความสัมพันธ์กับสังคมสำหรับความสามารถการจัดการโลจิสติกส์สีเขียวมีผลกระทบต่อเชิงบวกกับการตอบสนองความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย 4 มิติ ยกเว้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีโลจิสติกส์ เพื่อสิ่งแวดล้อมไม่ส่งผลกระทบกับการตอบสนองความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย งานวิจัยนี้สามารถชี้กำหนดแนวทางพัฒนาความสามารถการจัดการโลจิสติกส์สีเขียว เพื่อส่งเสริมให้ผลการดำเนินงานของธุรกิจมีประสิทธิภาพมากขึ้น [7]

การวิจัยการดำเนินงานสำหรับโลจิสติกส์สีเขียว – ภาพรวมของด้านประเด็นการมีส่วนร่วมและความท้าทาย การเติบโตทางเศรษฐกิจทั่วโลกของศตวรรษที่ 21 ได้รับเพิ่มขึ้นในการบริโภคสินค้ามากมายในขณะที่โลกาภิวัตน์ได้นำไปสู่กระแสใหญ่ของสินค้าทั่วโลก การผลิต ขนส่ง จัดเก็บ และการบริโภคสินค้าเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ได้สร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมขนาดใหญ่ วันนี้ โลกร้อน สร้าง โดยขนาดใหญ่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นความกังวลด้านสิ่งแวดล้อม รัฐบาล กลุ่มการดำเนินการและบริษัทจะขอเพื่อตอบโต้ภัยคุกคามนี้ การดำเนินงานวิจัยมายาวนาน ในการปรับปรุงการดำเนินงาน และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในการลดต้นทุนได้ ในกระดาษนี้ เรานำเสนอความคิดที่เน้นการผสมของการดำเนินงานวิจัยโลจิสติกส์สีเขียวที่เกี่ยวข้องกับการบูรณาการด้านสิ่งแวดล้อมในการขนส่ง เราให้ภาพร่างของการพัฒนาในปัจจุบัน และเป็นไปได้ นักออกแบบ การวางแผน และควบคุมในห่วงโซ่อุปทานสำหรับการขนส่ง คลังสินค้าและสิ่งอำนวยความสะดวกในการตัดสินใจ ในขณะที่ทำเช่นนี้ เรายังระบุหลายพื้นที่ที่สิ่งแวดล้อมอาจจะรวมอยู่ในรูปแบบการวิจัยโลจิสติกส์ [8]

การวิจัยห่วงโซ่อุปทานสีเขียว : อดีต ปัจจุบัน และอนาคตในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาความก้าวหน้าที่ดีในการพยายามรวมจริยธรรมและความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นหลักวัฒนธรรมของโลกรธุรกิจในปัจจุบัน ด้วยการเพิ่มความสำคัญกับความรับผิดชอบต่อ เช่น ตัวเลขการเติบโตของ บริษัท ได้สำรวจ " สีเขียว " (เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม) ซึ่งเป็นอาวุธในการแข่งขันเชิงกลยุทธ์ กระดาษนี้รื้อรอยวิวัฒนาการของการวิจัยห่วงโซ่อุปทานสีเขียวสังเคราะห์ที่ผ่านมาและความพยายามในปัจจุบันเพื่อพัฒนาห่วงโซ่อุปทานสีเขียววงกลยุทธ์ และเสนอแนวโน้มในอนาคตการวิจัยรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับกลยุทธ์นี้ [9]

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ตัวแบบทั่วไปของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงของปัญหาการขนส่งผ่าน ในรูปตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นตรงได้ดังนี้ คือ

Minimize $Z =$ ผลรวมของผลคูณระหว่างต้นทุนต่อหน่วยกับปริมาณการขนส่งของทุกกิ่งหรือ $\sum C_{ij} X_{ij}$ ภายใต้ข้อจำกัด

1. ข้อจำกัดด้านจุดต้นทาง (Origin nodes) คำนวณได้จากผลรวมของปริมาณการขนส่งออก ลบด้วย ผลรวมของปริมาณการขนส่งเข้า ซึ่งจะน้อยกว่าหรือเท่ากับปริมาณของที่จุดต้นทางหรือปริมาณอุปทาน เขียนเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ได้ คือ

$$\sum_{\text{กิ่งที่ออก}} X_{ij} - \sum_{\text{กิ่งที่เข้า}} X_{ij} \leq S_i \quad (\text{จุดต้นทางที่ } i)$$

2. ข้อจำกัดที่จุดขนส่งผ่าน (Transshipment Nodes) คำนวณได้จากผลรวมของปริมาณการขนส่งออกเท่ากับผลรวมของปริมาณการขนส่งเข้า หรือผลรวมของปริมาณการขนส่งออก ลบด้วย ผลรวมของปริมาณการขนส่งเข้าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\sum_{\text{กิ่งที่ออก}} X_{ij} - \sum_{\text{กิ่งที่เข้า}} X_{ij} = 0 \quad (\text{จุดขนส่งผ่าน})$$

3. ข้อจำกัดที่จุดปลายทาง (Destination Nodes) จะได้จากผลรวมของปริมาณการขนส่งเข้าลบด้วยผลรวมของปริมาณการขนส่งออกเท่ากับปริมาณของที่จุดปลายทางหรือปริมาณอุปสงค์ นั่นคือ

$$\sum_{\text{กึ่งที่เข้า}} X_{ij} - \sum_{\text{กึ่งที่ออก}} X_{ij} = D_j$$

เขียนตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นตรง สรุปได้คือ

$$\text{Minimize } Z = \sum_{\text{ทุกกึ่ง}} C_{ij} X_{ij}$$

$$\sum_{\text{กึ่งที่ออก}} X_{ij} - \sum_{\text{กึ่งที่เข้า}} X_{ij} \leq S_i \quad (\text{จุดต้นทางที่ } i)$$

$$\sum_{\text{กึ่งที่ออก}} X_{ij} - \sum_{\text{กึ่งที่เข้า}} X_{ij} = 0 \quad (\text{จุดขนส่งผ่าน})$$

$$\sum_{\text{กึ่งที่เข้า}} X_{ij} - \sum_{\text{กึ่งที่ออก}} X_{ij} = D_j \quad (\text{จุดปลายทางที่ } j)$$

$$X_{ij} \geq 0$$

โดยให้

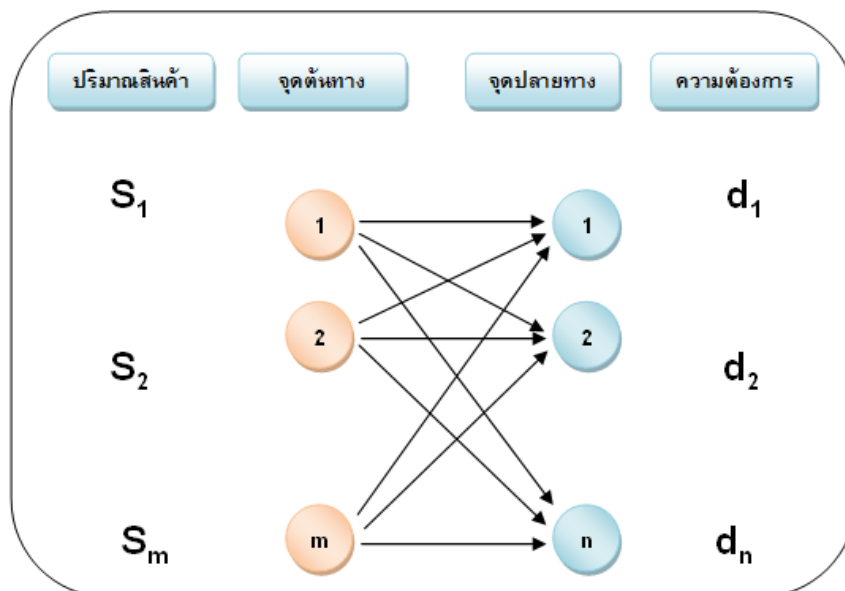
X_{ij} = ปริมาณการขนส่งจากจุด i ไปยังจุด j

C_{ij} = ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วยจากจุด i ไปยังจุด j

S_i = ปริมาณอุปทาน หรือปริมาณของที่จุดต้นทาง i

D_j = ปริมาณอุปสงค์หรือปริมาณความต้องการที่จุดปลายทาง j

Z = ค่าใช้จ่ายรวม



รูปที่ 1 ลักษณะของปัญหาการจัดส่งสินค้า

จากวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าขนส่งรวมต่ำที่สุดดังที่ได้กล่าวแล้วนั้น สามารถเขียนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาได้ดังนี้

$$\text{Minimize } Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn}$$

ทั้งนี้ มีเงื่อนไขบังคับของปัญหา 2 ด้าน ด้านแรกเกี่ยวกับขีดจำกัดของสินค้าที่มีอยู่ที่จุดต้นทางสินค้าที่จะส่งออก ไปจากจุดต้นทางหนึ่ง ๆ รวมกันแล้วต้องไม่เกินจำนวนสินค้าที่จุดต้นทางนั้นมีอยู่ หรือเขียนให้อยู่ในรูปเงื่อนไขของตัวแบบ กำหนดการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$X_{11}+X_{12}+X_{13}+...+X_{1n} \leq a_1$$

$$X_{21}+X_{22}+X_{23}+...+X_{2n} \leq a_2$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$X_{m1}+X_{m2}+X_{m3}+...+X_{mn} \leq a_m$$

เงื่อนไขอีกด้านหนึ่งคือ ความต้องการสินค้าหรือความสามารถในการเก็บสินค้าของจุดปลายทางสินค้าต่างๆที่ส่ง จากจุดต้นทางมายังจุดปลายทางหนึ่ง ๆ รวมแล้วจะต้องเท่ากับความต้องการของจุดปลายทางนั้น เขียนให้อยู่ในรูปเงื่อนไข ของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$X_{11}+X_{21}+X_{31}+...+X_{m1} = b_1$$

$$X_{12}+X_{22}+X_{32}+...+X_{m2} = b_2$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$X_{1n}+X_{2n}+X_{3n}+...+X_{mn} = b_n$$

$$(j = 1, 2, 3, \dots, n)$$

จากกำหนดการเชิงเส้นข้างต้นสามารถนำไปแก้ปัญหาโดยใช้วิธีซิมเพล็กซ์หรือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปได้ แต่เนื่องจากตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นของปัญหาการขนส่งมักจะมีตัวแปรและสมการเงื่อนไขจำนวนมาก ตามจำนวนจุด ต้นทางและจุดปลายทางของสินค้า จึงมีวิธีคิดคำนวณเพื่อแก้ปัญหาการขนส่งขึ้นโดยเฉพาะ โดยมีตารางที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

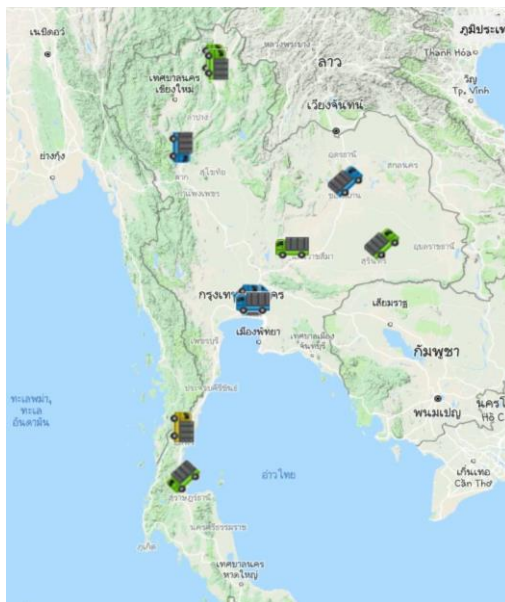
ตารางที่ 1 ตัวแบบปัญหาการขนส่ง

จุดต้นทาง	จุดปลายทาง				a_i
	1	2	...	n	
1	C_{11}	C_{12}		C_{1n}	a_1
	X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}	
2	C_{21}	C_{22}		C_{2n}	a_2
	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}	
:	:	:	:	:	:
m	C_{m1}	C_{m2}		C_{mn}	a_m
	X_{m1}	X_{m2}	...	X_{mn}	
b_j	b_1	b_2	...	b_n	$\sum a_i = \sum b_j$

สมมติฐานที่สำคัญของตัวแบบปัญหาการขนส่ง คือ ผลรวมของสินค้าที่มีอยู่ ซึ่งอยู่ที่จุดต้นทาง ($\sum a_i$) ต้องเท่ากับ ผลรวมของสินค้าที่จุดปลายทางต้องการ ($\sum b_j$)

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

4.1 ข้อมูลบริษัทกรณีศึกษาประกอบกิจการธุรกิจ SME ประเภทการขนส่ง และขนถ่ายสินค้าเป็นบริษัทผู้ให้บริการขนส่ง ซึ่งทำการขนส่งโดยรถบรรทุกชนิดหัวลากกึ่งพ่วง ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีการรับส่งสินค้าผ่านทาง 2 ที่คือ กรุงเทพฯ สมุทรปราการ ส่งสินค้าปลายทาง คือจังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดกระบี่



รูปที่ 2 ขนส่งเส้นทางประจำของบริษัทกรณีศึกษา

4.2 รูปแบบการขนส่ง ขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มจากบริษัทมีความต้องการจากลูกค้าในการจัดส่งสินค้า ปัจจุบันมีสถานที่ต้นทาง 3 สถานที่ ได้แก่ กรุงเทพฯ จังหวัดสมุทรปราการ จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยแต่ละสถานที่ส่งสินค้าไปยังสถานที่ปลายทาง ในจังหวัด 3 จังหวัดหลักๆ คือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จังหวัดนครศรีธรรมราช จังหวัดกระบี่เป็นต้น และมีการรับส่งสินค้าย่อย ๆ ตามจังหวัดชายแดนภาคใต้ด้วย มีการส่งสินค้าเที่ยวไปและสินค้าเที่ยวกลับ

ในการส่งสินค้านั้นบริษัทกรณีศึกษาจะมีการรับสินค้าจากสถานที่ต้นทาง 3 สถานที่ เพื่อจัดส่งสินค้าไปส่งในเขตภาคใต้เป็นหลัก โดยบริษัทกรณีศึกษามีลูกค้าปลายทาง 35 ราย เมื่อพนักงานรับงานจัดส่งสินค้า ดำเนินการจัดส่งรถบรรทุกพร้อมตัวเที่ยวในการเดินทาง โดยจากสถิติใน 6 เดือน มีการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง และใช้รถบรรทุกทั้งหมด 20 คัน เกิดค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงมาก เนื่องจากรถทั้ง 17 คัน เมื่อจัดส่งงานเสร็จก็ตีรถเปล่ากลับ เพื่อดำเนินการเอกสารที่สำนักงานใหญ่ มีเพียง 3 คันที่รับสินค้าเที่ยวเปล่ากลับมายังต้นทางด้วย แต่ก็เป็นส่วนน้อยมากในการวิ่งแต่ละครั้ง

จากปริมาณสินค้าเที่ยวกลับทำให้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนสูงขึ้น อีกทั้งยังมีจำนวนลดลงของปริมาณงาน ดังนั้นทางบริษัทจึงมีแนวคิดที่จะมีจุดพักสินค้า หรือจุดรวบรวมสินค้าให้ได้ปริมาณที่กำหนดไว้ให้อยู่ในแนวของกลุ่มลูกค้าทั้งงานเที่ยวขาไปและขากลับ เพื่อลดจำนวนรถวิ่งและลดการขนส่งรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น

5. ผลการทดลองและอภิปรายผล

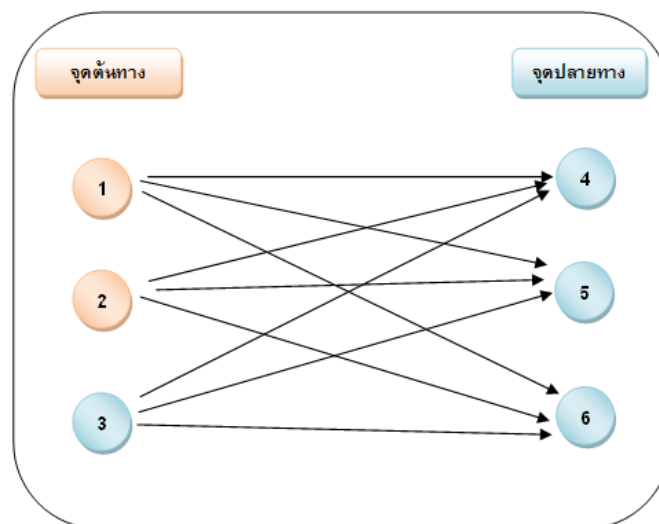
5.1 การวางแผนการทดลอง ผู้วิจัยวางแผนการทดลองจากการเปรียบเทียบสถิติและการใช้ในการขนส่งแบบเดิม โดยให้มีการเปรียบเทียบผล 2 กรณี คือ 1) กรณีขนส่งตามความต้องการของลูกค้าตามปริมาณงาน 2) กรณีขนส่งโดยมีจุดรวบรวมสินค้า เพื่อให้สินค้ามีจุดที่รวมสินค้าจากเขตภาคใต้ โดยมีการเก็บข้อมูลรวบรวมผลในการดำเนินงาน กำหนด

<http://jeet.siamtechu.net>

ต้นทุนค่าขนส่ง และค่าใช้จ่าย จากตารางต้นทุนค่าใช้จ่าย จากต้นทาง 3 สถานที่ และปลายทาง 3 สถานที่ ไม่มีการพักสินค้า หรือจัดเก็บรวบรวมสินค้า เมื่อมีความต้องการของลูกค้าในการจัดส่งก็ดำเนินการจัดส่งจนแล้วเสร็จไม่มีเที่ยวเปล่าสินค้า กลับมาด้วย ต้นทุนค่าใช้จ่ายจึงสูงถึง 588,000 บาท ตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 2 ต้นทุนค่าใช้จ่ายรูปแบบเดิมไม่มีจุดรวบรวมสินค้า

Transportation Results			
(untitled) Solution			
solution value = \$588000	Destination 1	Destination 2	Destination 3
a		8000	2000
b			6000
c	8000		
Dummy	4000	2000	



รูปที่ 3 ตัวอย่างลักษณะการขนส่งรูปแบบเดิม

จากการวางแผนการจัดการขนส่งรูปแบบใหม่ทำการทดลอง ซึ่งมีการคิดคำนวณสมการตามแบบการทดลอง ในรูปเงื่อนไขของตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นได้ ดังนี้

Subject to :

$$X_{13} + X_{14} = 12000$$

$$X_{23} + X_{24} = 6000$$

$$X_{13} + X_{23} \leq 10000$$

$$X_{23} + X_{24} \leq 10000$$

$$X_{35} + X_{36} + X_{37} \leq 10000$$

$$X_{45} + X_{46} + X_{47} \leq 10000$$

$$X_{35} + X_{45} = 12000$$

<http://jeet.siamtechu.net>

$$X_{36} + X_{46} = 10000$$

$$X_{37} + X_{47} = 8000$$

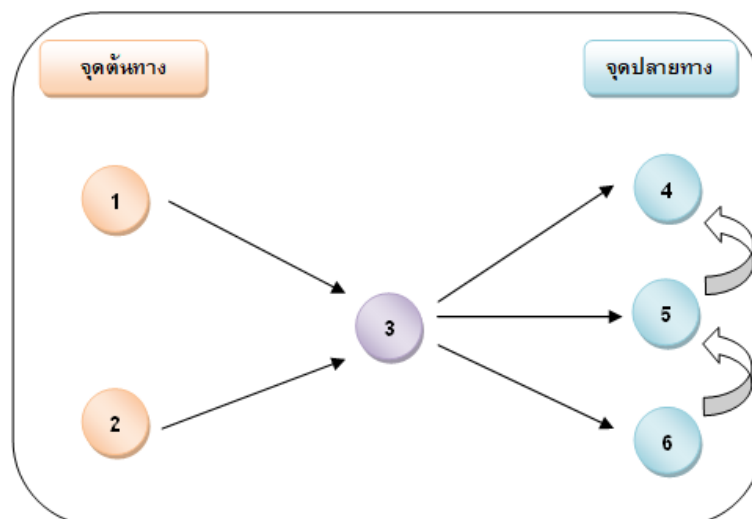
$$X_{ij} \geq 0$$

จากตารางที่ 2 ต้นทุนค่าใช้จ่ายรูปแบบใหม่มีจตุรรวมสินค้า โดยมีการลดจำนวนต้นทุนทางลง แล้วทำการเริ่มต้นทาง 2 สถานที่ จุดปลายทาง 3 สถานที่หลัก และสถานที่ย่อย ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนค่าใช้จ่ายรูปแบบใหม่มีจตุรรวมสินค้า

Transportation Results			
(untitled) Solution			
solution value = \$380000	Destination 1	Destination 2	Destination 3
a		8000	2000
b			6000
Dummy	12000	2000	

จากตารางที่ 3 พบว่า มีค่าใช้จ่ายที่มีการวิเคราะห์คำนวณแบบมีจตุรรวมสินค้า และมีค่าใช้จ่ายของการขนส่งอยู่ที่ 380,000 บาท ซึ่งลดลงถึง 35% ให้การขนส่งที่คิดคำนวณได้ที่สร้างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์มาใช้ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาครั้งนี้ จากการเปลี่ยนวิธีการขนส่งที่สามารถประหยัดขึ้นทำให้สามารถลดจำนวนรถรวมได้ จากการขนส่งรูปแบบเดิมใช้รถรวม 20 คัน จากต้นทุนค่าใช้จ่าย 588,000 บาท คิดคำนวณเป็นคันละ 29,400 บาท เมื่อดำเนินการทดลองพบว่า การวางแผนจัดการขนส่งรูปแบบใหม่ ที่มีลักษณะการขนส่งรูปแบบที่สามารถมีสินค้าเที่ยวเปล่า และที่รวบรวมสินค้ามีต้นทุนค่าใช้จ่าย 380,000 บาท คิดคำนวณเป็นคันละ 19,000 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4 ตัวอย่างลักษณะการขนส่งรูปแบบที่สามารถมีสินค้าเที่ยวเปล่า และที่รวบรวมสินค้า

6. สรุปผล

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้ในการขนส่ง และจำนวนรถร่วมการขนส่ง

รายการ	ต้นทุนค่าใช้จ่าย (บาท)	(%)	จำนวนรถร่วม(คัน)	(%)
1.ขนส่งรูปแบบเดิม	588,000	100	20	100
2.ขนส่งรูปแบบใหม่	380,000	35	12	60

จากตารางที่ 4 การเปรียบเทียบต้นทุนค่าใช้ในการขนส่ง และจำนวนรถร่วมการขนส่ง งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อวางแผนการจัดการขนส่งใหม่ในเขตภาคใต้ โดยต้องการให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และจำนวนรถร่วมให้น้อยที่สุด โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น พิจารณาให้กับการจัดการขนส่งสินค้าให้กับบริษัทกรณีศึกษาซึ่งมีการจัดส่งสินค้าทั้งเที่ยวไปและเที่ยวกลับ โดยจากรูปแบบการขนส่งเดิมส่งตรงถึงลูกค้าตามความต้องการทำให้เมื่อมีการขนส่งเกิดขึ้นทางบริษัทกรณีศึกษาทำการจัดรถร่วมขนส่งไปยังจุดต้นทางทันที ซึ่งทำให้การขนส่งรูปแบบนี้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายสูง และใช้รถร่วมเป็นจำนวนมาก จึงทำการแก้ปัญหาโดยใช้ตัวแบบทั่วไปของการโปรแกรมเชิงเส้นตรงของปัญหาการขนส่งผ่าน ผลทดลองพบว่า สามารถประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และลดจำนวนรถร่วมได้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษานี้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดการขนส่ง และสามารถประยุกต์ใช้กับงานขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาอื่น ๆ ที่มีการขนส่งคล้ายคลึงกันต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ นายสนิตย์ สงสุรินทร์ ตำแหน่ง Business Director ของบริษัทเอ็ม อี ทรานส์ จำกัด ที่สละเวลาให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้อย่างยิ่ง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทศพร ศิริสัมพันธ์. 2561. จดหมายข่าว : NEWSLETTER กองยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์.
- [2] ขวัญฤดี โชติชนาทวีวงศ์. 2557. วารสารธุรกิจสีเขียว. 8(1).
- [3] รพงค์ พงศ์ดำรงศักดิ์ และสุนารีน จันทะ. 2560. การกำหนดตำแหน่งฐานปล่อยรถบรรทุกโดยพิจารณาปริมาณสินค้าที่บรรทุก ทั้งเที่ยวไปและกลับ กรณีศึกษาผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์.
- [4] มนัส บุญวงศ์ และมาเรียม นะมิ. 2557. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนาศักยภาพผู้ให้บริการด้านการขนส่งนักท่องเที่ยวด้วยความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อรองรับการเปิดเส้นทางโลจิสติกส์อาเซียน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- [5] วลัยลักษณ์ อัครีวงศ์ และวริยา ปานปรุ่ง. 2559. แรงขับเคลื่อนในการประยุกต์ใช้การจัดการโลจิสติกส์สีเขียวสำหรับผู้ประกอบการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 24(2).
- [6] อัญญา ประเสริฐธรรมา. 2558. การนำแนวคิดกรีนซัพพลายเชนมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มคุณภาพสิ่งแวดล้อมภายในบริษัทในการจัดการให้มีประสิทธิภาพ. วิทยาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [7] ศิริพร เลิศยิ่งยศ วิโรจน์ เจริญลักษณ์ และจันทนา แสนสุข. 2558. ความสามารถในการจัดการโลจิสติกส์สีเขียวที่มีผลต่อการตอบสนองความต้องการของผู้มีส่วนได้เสีย และผลการดำเนินงานของอุตสาหกรรมกระดาษในประเทศไทย. วารสารบริหารธุรกิจ. 38(147). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

<http://jeet.siamtechu.net>

[8] Rommert Dekker Jacqueline Bloemhof Ioannis Mallidis. 2012. Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges. *European Journal of Operational Research*. 219(3), pp 671-679.

[9] Hokey Min & Ilsuk Kim. 2012. Green supply chain research: past, present, and future. *Logistics Research*. March 2012, 4(1–2), pp 39–47.

วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม Journal of Energy and Environment Technology

1 คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ: บทความควรมีความยาวไม่เกิน 9 หน้า กระดาษ A4 การตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบด้านบน 3 ซม. และด้านล่าง 1.5 ซม. ขอบด้านขวาและซ้าย 2.25 ซม. พิมพ์ด้วย ตัวอักษร "Browallia New" ขนาด 14 โดยหัวข้อต่างๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา

2 คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง (Title): ควรกระชับ ชัดเจน ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 20 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ที่อยู่หรือหน่วยงาน: ระบุชื่อหน่วยงานหรือสถาบันใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวเอียง และ E-mail address ที่ติดต่อ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว บรรทัดแรกเว้น 1 Tab เนื้อหาในบทคัดย่อควรระบุวัตถุประสงค์โดยย่อ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ หัวข้อบทคัดย่อใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด 14 และพิมพ์ชิดขอบทั้งสองด้าน

คำสำคัญ (Keyword): ให้มีคำสำคัญเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่คนละหน้า ใต้บทคัดย่อ (Abstract) หัวข้อคำสำคัญใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดา

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

บทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัตถุประสงค์ และอาวรวมการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ควรมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี): ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

ตารางและรูป ต้องมีความคมชัดและให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..."

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความ โดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

[หนังสือ] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

[วารสาร] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. ปีพิมพ์;เล่มที่(ฉบับที่):เลขหน้า.

[วิทยานิพนธ์และการศึกษาค้นคว้าอิสระ] ชื่อผู้เขียน. ชื่อเรื่อง [ประเภทหรือระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: ชื่อมหาวิทยาลัย; ปีพิมพ์.

[หนังสือรวมเรื่อง] ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์ตั้งแต่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป, หน้า). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

[หนังสือพิมพ์] ชื่อผู้แต่ง. (วันที่ เดือน ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์. เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

[สื่ออิเล็กทรอนิกส์] ชื่อโฮมเพจ/เว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต]. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อปี เดือน วันที่; เข้าถึงเมื่อปี เดือน วันที่]. เข้าถึงได้จาก: URL.

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิ์ในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้

**"บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น"**

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
Siam Technology College



DIFFERENTLY...I-LEARN
WWW.SIAMTECHU.NET