



ISSN 0125-1724 (Print)

ISSN 2730-3888 (Online)

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 38 ฉบับที่ 3

กันยายน 2564

บทความวิจัย

1. เทคนิคการลดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคนโดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์
กฤษฎี เลิศล้ำ และ ชลธิ โพธิ์ทอง 1
2. การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารโครงการย่อยของทางหลวง
วิทยา ศรีสมบูรณ์ ณรงค์ฤทธิ์ ว่องไว ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี และ
โสภณ วีระพัฒน์ยิ่งยง 11
3. อิทธิพลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลต่อสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ใน
เครื่องยนต์ดีเซลเล็กขณะสตาร์ทเครื่องยนต์
กิตติ เอี่ยมเปรมจิต 24
4. การประยุกต์แบบจำลอง Goal-Directed Behavior เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้จักรยานผ่าน
คุณลักษณะของเพศ และการมีรถยนต์ในครอบครองของผู้เดินทางในเขตเมืองจังหวัดชลบุรี
จตุรงค์ อินทะนู และ สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์ 33
5. การศึกษาปัจจัยของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานของบริษัทรับเหมา
ก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทยโดยใช้โมเดลสมการโครงสร้าง
ชนาธิป คว้าภาพงษ์ และ นคร กนกแก้ว 53
6. การประยุกต์รูปแบบความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบเพื่อลดของเสียในกระบวนการ
ผลิตเสาไฟฟ้า
กิตติชัย อธิกุลรัตน์ ศิริรัตน์ แจ่มรักษัสกุล และ เจษฎา พลายชุมพล 63
7. การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด
สุวรรณา พลภักดิ์ 77

“วิศวกรรมลาดกระบ้ง”

วิศวกรรมลาดกระบ้งเป็นวารสารทางวิชาการซึ่งจัดทำโดยคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบ้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ตีพิมพ์บทความที่มีคุณภาพสูงทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ และเทคโนโลยีทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติ
2. เป็นเอกสารเผยแพร่งานวิจัยและพัฒนาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เป็นสื่อแลกเปลี่ยนผลงานวิจัยและองค์ความรู้ใหม่ ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างนักศึกษา นักวิจัย และอาจารย์ ตลอดจนผู้สนใจ
4. เป็นเอกสารรวบรวมบทความวิจัยและผลงานทางวิชาการที่น่าสนใจและมีคุณค่าทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

วาระที่ออก

ปีละ 4 ฉบับ (ทุก 3 เดือนต่อฉบับ)

นโยบาย

บทความที่จะเสนอตีพิมพ์ จะต้องเป็นบทความที่มีคุณค่าทางวิศวกรรม เช่น เป็นรายงานการวิจัยที่ผู้เขียนได้ทำการทดลอง สร้าง หรือมีส่วนกับงานโดยตรง เป็นบทความที่เสนอถึงความคิด หรือหลักการใหม่ที่เป็นไปได้ และมีทฤษฎีประกอบ หรือสนับสนุนอย่างเพียงพอ หรือเป็นบทความทางวิชาการที่น่าสนใจ มีประโยชน์ต่อนักศึกษาและนักวิจัย โดยผู้เขียนเป็นผู้รวบรวมและเรียบเรียงเอง

รูปแบบของบทความ

บทความที่เสนอจะเป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษก็ได้ โดยจัดพิมพ์ตามรูปแบบที่กำหนดให้ ซึ่งพร้อมที่จะนำไปถ่ายเพลทเพื่อพิมพ์ได้ทันที (camera ready) และเพื่อให้รูปแบบการพิมพ์ของบทความมี มาตรฐานเดียวกันจึงขอให้ผู้เขียนจัดเตรียมเอกสารโดยใช้เวิร์ดโปรเซสเซอร์ Microsoft Word for Windows สำหรับรูปภาพประกอบ หากมิใช่ภาพถ่ายก็ควรเขียนหรือสเก็ตโดยใช้ซอฟต์แวร์ ที่สนับสนุนการทำงานในระบบ Windows

บทความที่น่าเสนอเพื่อตีพิมพ์ ควรประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับ ดังนี้

ชื่อเรื่อง	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
ชื่อผู้เขียนและผู้ร่วมงาน	ไม่ต้องระบุคุณวุฒิหรือตำแหน่งทางวิชาการใด ๆ
สถานที่ทำงาน	ในกรณีที่ผู้เขียนหรือผู้ร่วมงานเป็นนักศึกษา ให้ใช้คณะและสถาบันที่สังกัดเป็นสถานที่ทำงาน
บทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
เนื้อความ	ควรประกอบไปด้วยหัวข้อต่าง ๆ และมีเลขประจำหัวข้อตามลำดับ

1. บทนำ
 2. ทฤษฎี
 3. การทดลองและผลการทดลอง
 4. สรุป
- 2.1 หลักการของ.....
 - 2.2 หลักการใหม่.....

กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)
เอกสารอ้างอิง การอ้างในบทความให้ใช้หมายเลขประจำเอกสารหรือบทความที่อ้างอิง โดยตัว เลขจะอยู่ในวงเล็บใหญ่ โดยรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงจะเป็นดังนี้

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, “The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic,” Ladkrabang Engineering Journal, vol.30, no.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltess, “Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits,” IEEE Trans. Circuits and Systems, vol.39, no.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

การส่งบทความ

บทความที่จะส่งเปิดรับทั้งจากบุคคลภายในและภายนอกสถาบันฯ โดยเนื้อหาของบทความอยู่ระหว่าง 8–14 หน้ากระดาษ A4 โดยส่งหน้าแรกของบทความเป็นแบบระบุชื่อผู้แต่ง 1 หน้า และแบบไม่ระบุชื่อผู้แต่งอีก 1 หน้า บทความที่มีจำนวนหน้ามากกว่าที่กำหนดอาจไม่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการวิศวกรรมลาดกระบ้ง และกรุณาระบุชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ และ E-mail address ใช้ชัดเจนในแบบฟอร์มการส่งบทความด้วย ผู้เขียนสามารถส่งผ่านระบบวารสารออนไลน์ โดยลงทะเบียนและส่งบทความ ได้ที่ ลิงก์ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

เจ้าของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบ้ง
กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ (662) 329-8000 # 3464, 3465
โทรสาร (662) 329-8317

ที่ปรึกษา

คณบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.อุมมา สืบญะเรือง

รองหัวหน้ากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง

ผู้ช่วยกองบรรณาธิการ

ดร.พิณช ธนชัยโชคศิริกุล

กองบรรณาธิการ

นางสาวชนัญชิดา นอบน้อย
ติดต่อประสานงาน
จัดทำต้นฉบับ Artwork

นายวิรัช จุลไกรลสุจริต
พิสูจน์อักษร และรูปเล่ม

นายทนงค์ศักดิ์ ใจชื่นแสน
ออกแบบปก



วิศวกรรมลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ “วิศวกรรมลาดกระบัง”

ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ

สายวิชาเทคโนโลยีวัสดุ

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ์ อัครเอกพาลิน

บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติ

สิรินธร ไทย-เยอรมัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-

พระนครเหนือ

ศาสตราจารย์ ดร.อภิศักดิ์ วรพิเชฐ

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย วงศ์วิเศษ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ชูชีพสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศาสตราจารย์ ดร.สราวุฒ สุจิตรจรร

สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน)

ศาสตราจารย์ ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รั้วรุจา

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.จารุวัตร เจริญสุข

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติเชต สุริรักษา

ภาควิชาวิศวกรรมดนตรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.โมนาย ไกรฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

ศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ สุระกำพลธร (เกษียณอายุ)

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร. กอบชัย เดชหาญ (เกษียณอายุ)

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร-

ลาดกระบัง



วิศวกรรมลาดกระบัง

Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วันที่ 20 กันยายน 2564

เรื่อง แจ้งเพื่อทราบ

เรียน อาจารย์ นักวิจัย นักศึกษา และผู้สนใจ

กองบรรณาธิการ “วิศวกรรมลาดกระบัง” มีความประสงค์ขอเรียนแจ้งให้ท่านทราบรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิศวกรรมลาดกระบัง ดังนี้

1. เว็บไซต์ใหม่ของวารสาร คือ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lei>
2. เนื้อหาของบทความอยู่ระหว่าง 8-14 หน้ากระดาษขนาด A4 โดยส่งหน้าแรกของบทความเป็นแบบระบุชื่อผู้แต่ง 1 หน้า และแบบไม่ระบุชื่อผู้แต่งอีก 1 หน้า บทความที่มีจำนวนหน้ามากกว่าที่กำหนดอาจไม่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการวิศวกรรมลาดกระบัง
3. การส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวิศวกรรมลาดกระบัง ผู้เขียนบทความสามารถเสนอรายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญในสาขาที่ท่านส่งมา จำนวน 2 ท่าน โดยแนบมาพร้อมแบบฟอร์มการส่งบทความด้วยทุกครั้ง

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ จักขอบพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุมา สีบุญเรือง)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

**เทคนิคการลดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคน
โดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์**

**Electro-Static Discharge Reduction in Silicone Filter Process
using Faraday Cage with Ground Technique**

กฤษฎ์ เลิศล้ำ^{1,*} และ ชลธิ์ โพธิ์ทอง¹

¹ สาขาวิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ขามเรียง กันทรวิชัย มหาสารคาม 44150

Krit Lertlam^{1,*} and Chonlatee Photong¹

¹ Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University,

Kantarawichai, Maha Sarakham, 44150, Thailand

*Corresponding Author E-mail: Krit.ler@msu.ac.th

Received: May 18, 2021; **Revised:** Aug 20, 2021; **Accepted:** Aug 23, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณไฟฟ้าสถิตและเพิ่มความปลอดภัยสำหรับผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการกรองซิลิโคน โดยใช้เทคนิคกรงฟาราเดย์ ผู้วิจัยค้นพบว่า การเกิดและคายประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและรุนแรงในกระบวนการกรองซิลิโคนเกิดจากการเสียดสีของวัสดุไตรโบอิเล็กทริกซีรีส์ ได้แก่ ซิลิโคน และผ้ากรองไนลอน ที่ถูกอัดด้วยแรงดันขนาด 150–200 บาร์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองในสถานที่จริงได้ ผู้วิจัยจึงได้จำลองการเกิดคายประจุไฟฟ้าสถิตและปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในห้องทดลอง เพื่อทดสอบเทคนิคการลดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบไม่มีกรงฟาราเดย์ แบบมีกรงฟาราเดย์ไม่ต่อกราวด์ และแบบมีกรงฟาราเดย์และต่อกราวด์ จากผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งกรงฟาราเดย์สามารถลดปริมาณไฟฟ้าสถิตลงได้ร้อยละ 51 และสามารถลดปริมาณไฟฟ้าสถิตลงได้อีกถึงร้อยละ 71 เมื่อมีการต่อกราวด์ร่วมด้วย

คำหลัก: การลดไฟฟ้าสถิต, กระบวนการกรองซิลิโคน, กรงฟาราเดย์

Abstract

This research aims to reduce electro-static discharge and increase safety for workers in the silicone filling process by using the Faraday cage technique. The research found that the electro-static and its discharge occurred rapidly and severely, which was caused by the friction of triboelectric series material, silicone, and nylon filter cloth, that was compressed by very high compression of 150–200 bars. This electro-static discharge was therefore dangerous for the workers. Because the experiment cannot be carried out in the real place. This research simulated discharge static electricity and other related factors in the laboratory. To test the electrostatic reduction technique using a Faraday cage in combination with ground. The experimental test scenarios were divided into 3 cases: without the Faraday cage, with the Faraday cage but without grounding and with Faraday cage with grounding. According to the research results, it was found that by installing the

Faraday cage solely could reduce the amount of electro-static discharge by 51% but with also the additional grounding could reduce the amount of electro-static by 71% when grounded, compared to one without the Faraday cage.

Keywords: Electro-static reduction, Faraday cage, Silicone filling process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตซิลิโคนเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในการตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมต่าง ๆ และชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก เนื่องจากซิลิโคนสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย เช่น ใช้ในการผลิตกาว สารเคลือบผิว สารหล่อลื่น เครื่องสำอาง รวมไปถึงการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น ซิลิโคน (Silicone) หรือ พอลิซิลอกเซน (Polysiloxanes) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างสายโซ่หลัก ซึ่งจะประกอบไปด้วย ซิลิคอน (Silicon) ออกซิเจน (Oxygen) และมีหมู่ข้างเคียงเป็นสารพวกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจะเป็ตัวกำหนดคุณสมบัติตามที่ต้องการ [1],[2] มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของซิลิโคนที่ต้องการ อุตสาหกรรมผลิตซิลิโคนแห่งประเทศไทยจะแบ่งการผลิตออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ Liquid Injection Molding System (LIMs) Sealant Emulsion และ Silicone Oil ในการวิจัยนี้ได้มุ่งศึกษาและพัฒนากระบวนการผลิตซิลิโคนแบบเหลวด้วยกระบวนการ Liquid Silicone Rubber Injection Molding System (LIMs) ซึ่งมีขั้นตอนการผลิตอยู่ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการเติมสารเคมี
2. ขั้นตอนการผสมสารเคมี
3. ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ
4. ขั้นตอนการกรองซิลิโคน

จากการศึกษาวิจัยได้พบว่า ขั้นตอนการกรองซิลิโคนประสบปัญหาการคายประจุไฟฟ้าสถิตอย่างรุนแรงในขณะที่กำลังทำการกรองซิลิโคนซึ่งเหตุการณ์นี้ยังส่งผลกระทบต่อบุคลากรที่ปฏิบัติงานในหน่วยงานถูกไฟฟ้าสถิตช็อต ระดับความความรุนแรงอยู่ในช่วงระดับ 5-9 kV [3] โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าสถิตกับ

ผลที่เกิดกับร่างกายมนุษย์ที่จัดโดยสมาคมอุตสาหกรรมความปลอดภัยนานาชาติโดยใช้ Human Body Model (HBM) เป็นไปตามระดับดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งอยู่ในระดับอันตราย

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าสถิต Human Body Model (HBM) กับผลที่เกิดกับมนุษย์ [3]

HBM (kV)	อาการที่ปรากฏกับมนุษย์
1	ไม่มีความรู้สึก
2	รู้สึกมีอาการชาที่มือ
3	รู้สึกเหมือนโดนเข็มแทงมือ
5	มีอาการชาทั้งท่อนแขน
6	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงข้อมือ
7	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงท่อนแขน
8	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงข้อศอก
9	มือและแขนชา ไม่มีแรงถึงรักแร้
10	มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านมือ
11	มืออยู่ในสภาพไร้ความรู้สึก เกิดการกระตุกที่ท่อนแขน
12	แขนไม่สามารถสั่งการได้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเป็นการนำเสนอวิธีการลดปริมาณไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคนและเพิ่มความปลอดภัยในกระบวนการทำงานของบุคลากร เพื่อลดการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในกระบวนการกรองซิลิโคนและมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน โดยใช้เทคนิคกรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้อง การออกแบบอุปกรณ์เพื่อการทดสอบและบันทึกผล และผลการวิจัย ในหัวข้อต่อไป

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ศึกษากระบวนการกรองซิลิโคนและทฤษฎีเพื่อหา

สาเหตุของการเกิดไฟฟ้าสถิต

ในขั้นตอนการกรองซิลิโคนนี้จะใช้เครื่องอัดซิลิโคน (Extruder Machine) ที่อาศัยแรงอัดขนาด 150–200 บาร์ ให้ซิลิโคนเคลื่อนที่ไปยังตัวกรองซิลิโคน (Basket Filter) เพื่อกรองซิลิโคนให้มีความละเอียดเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นและในขณะที่ซิลิโคนเคลื่อนที่ออกจากตัวกรองซิลิโคนจะเกิดปรากฏการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิตอย่างรุนแรงเกิดขึ้นตามมา จากการศึกษาตัวกรองซิลิโคน (Basket Filter) จะมีส่วนประกอบ ได้แก่ ฝาครอบตะแกรง ลูกบอลในตัวกรอง โครงเหล็กครอบลูกบอล ตะแกรง Filter NMO-50µm NMO-80µm Stand วาง GAF ท่อต่อแวนอน ท่อข้องอ Pin lock Clamp lock ท่อ U-Bolt lock O-RING ตะแกรง และ O-RING ต่อท่อพบว่าวัสดุที่เป็นไปตามทฤษฎีไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric) [4] ได้แก่ NMO-50µm NMO-80µm และซิลิโคน ตามทฤษฎีไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric) เกิดจากพื้นฐานของปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิต [3],[5] คือความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าบนพื้นผิวของวัสดุ เมื่อวัตถุทั้งสองชนิดเกิดการเสียดสีกัน อันเนื่องมาจากผลของแรงกระตุ้นเชิงกลที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างวัสดุ โดยที่วัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการถ่ายเทประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ตามตารางที่ 1 ตารางไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric series) แสดงให้เห็นระดับความสามารถในการถ่ายเทอิเล็กตรอน ความรุนแรงในการเกิดเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต [5] ในแต่ละครั้ง มีปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยดังนี้

1. ชนิดของวัตถุทั้งสอง ตามตารางที่ 2 ตารางไตรโบอิเล็กทริก (Triboelectric Series) ความรุนแรงในการคายประจุไฟฟ้าสถิตจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการคายและรับอิเล็กตรอนของวัตถุชนิดนั้น ๆ
2. ความรุนแรง และระยะเวลาในการเสียดสีของวัตถุ ยิ่งมีความรุนแรง ระยะเวลา มาก จะให้เกิดการสะสมและคายประจุไฟฟ้าสถิตรุนแรงมากขึ้นตาม

3. ความชื้นสัมพัทธ์ ค่าความชื้นน้อยยิ่งทำให้เกิดการถ่ายเทและสะสมของประจุไฟฟ้าได้ง่าย

4. ลักษณะของพื้นผิวของวัสดุทั้งสอง วัสดุที่มีพื้นผิวที่ขรุขระจะมีพื้นที่ในการเสียดสีมากทำให้การถ่ายเทประจุไฟฟ้าได้มากขึ้น

ตารางที่ 2 ตารางไตรโบอิเล็กทริกซีรีส์ [4]

More positively charged (+)	Silver
Rabbit's Fur, Hair	Gold
Glass	Polyester (PET)
Mica	Polystyrene
Wool	Acrylic
Nylon	Polyvinyl Chloride W/plasticizer
Lead	Silicone
Silk	Polyethylene
Aluminum	Polypropylene
Paper	Polytrifluoro chloroethylene
Wood	Teflon (PTFEE)
Amber	Silicon Rubber
Rubber Balloon	Ebonite
Copper	More negatively charged (-)

2.2. เทคนิคการจัดการไฟฟ้าสถิตโดยทั่วไปจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณ ปัจจุบัน บริษัทอุตสาหกรรมซิลิโคนในประเทศไทยได้ใช้วิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้ คีมคิบบราร์ดในตำแหน่ง ตะแกรง GAF ติดตั้งพื้นกราวด์ อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิตต่าง ๆ ได้แก่ เสื้อ หมวก รองเท้า สำหรับการป้องกันไฟฟ้าสถิต และเกี่ยงพันด้วยฉนวนไฟฟ้าสำหรับการปาดซิลิโคน ซึ่งทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ยังไม่สามารถที่ลดหรือป้องกันอุบัติเหตุจากการถูกไฟฟ้าสถิตช็อตได้

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเทคนิคและวิธีการจัดการไฟฟ้าสถิตต่าง ๆ จากงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องกำจัดไฟฟ้าสถิต (Ionizer) [3],[6-7] เป็นระบบที่ปล่อยประจุแบบโคโรนา (Corona Discharge) เพื่อกระจายประจุไฟฟ้าไปในอากาศเพื่อให้สัมผัสกับพื้นผิว

2. การเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) [3],[6],[8] เทคนิคนี้จะเพิ่มความชื้นเข้าไปในอากาศ เมื่อสภาพแวดล้อมนั้นมีความชื้นสูงการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อนทำให้ปริมาณไอน้ำที่เข้ามาชนและดูดซับวัตถุบนพื้นผิว ทำให้มีความต้านทานกระแสไฟฟ้าบนพื้นผิวลดลงและช่วยยับยั้งการถ่ายเทประจุไฟฟ้าได้

3. ตัวนำที่เป็นฉนวนไฟฟ้า [9-11] ทำให้พื้นผิวฉนวนไฟฟ้าโดยการเพิ่มสารป้องกันไฟฟ้าสถิต สารเติมแต่งหรือขุบก้อนบนพื้นผิววัสดุ

4. ระบบกราวด์ (Grounding) [3],[12],[13] การต่อกราวด์เชื่อมต่อกับทางไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างที่เป็นตัวนำไฟฟ้าจะช่วยในการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ลงสู่พื้นดินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างมีค่าเท่ากับพื้นดิน

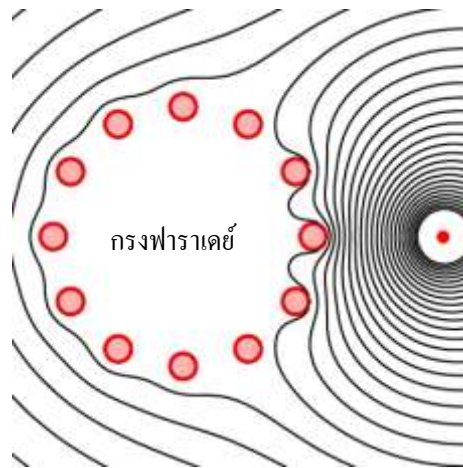
5. กรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) [14-16] คือวัสดุที่ทำจากโลหะนำไฟฟ้าเชื่อมต่อกันเป็นตาข่ายสนามไฟฟ้าภายนอกทำให้ประจุภายในตัวนำไฟฟ้ากระจายออกไปในลักษณะที่ทำให้สนามไฟฟ้าหักล้างกันเอง ซึ่งสามารถป้องกันอุบัติเหตุจากการถ่ายเทไฟฟ้าสถิตได้

จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการจัดการไฟฟ้าสถิตโดยใช้กรงฟาราเดย์ร่วมกับกราวด์ ซึ่งจะเป็นวิธีการจัดการที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของชิปไอคอนที่จะทำให้เกิดการของการปนเปื้อนของเนื้อชิปไอคอนตามมาอีกด้วย

2.3. ทฤษฎีกรงฟาราเดย์

กรงฟาราเดย์ (Faraday Cage) คือ แท่งตัวนำหรือโลหะที่นำไฟฟ้าได้ดีเชื่อมต่อกันเป็นตาข่าย (Mesh) สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้ามากระทบจะทำให้ประจุไฟฟ้าภายในตัวนำเคลื่อนที่เพื่อหักล้างกันกับสนามแม่เหล็ก

ไฟฟ้าภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีเงื่อนไขการกีดขวางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอก คือช่องตาข่ายควรมีขนาดเล็กกว่า 1 ใน 8 ของแถบคลื่นความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (λ) จึงจะสามารถลดหรือกีดขวางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายนอกได้ กรงฟาราเดย์จะป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรุนแรงได้เท่านั้น



รูปที่ 1 การกีดขวางสนามไฟฟ้าของกรงฟาราเดย์
แบบ 2 มิติ [16]

ในปี ค.ศ.1905 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้อธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กตรอน [17] โดยใช้แนวคิดของ แมกซ์ พลังค์ (Max Planck) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบผิวโลหะจะมีลักษณะคล้ายอนุภาคประกอบไปด้วยพลังงานเล็ก ๆ (E) เรียกว่า ควอนตัมพลังงานหรือโฟตอน (Photon) ซึ่งขนาดจะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$E = h\nu \quad (1)$$

โดยที่ E คือพลังงาน (Energy) มีหน่วยเป็นจูล(J) h คือค่าคงที่ของพลังค์ (Planck constant) 6.25×10^{-34} Js. ν คือความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีหน่วยเป็น Hz หรือ S^{-1} นอกจากนี้ความถี่ของคลื่นยังมีความสัมพันธ์กับความยาวของคลื่นดังต่อไปนี้

$$\lambda = c/\nu \quad (2)$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่น มีหน่วยเป็นเมตร(m) c คือ ความเร็วของคลื่นแม่เหล็กในสุญญากาศ 2.997×10^8 m/s ดังนั้น ค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจึงคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$E = hc/\lambda \quad (3)$$

งานวิจัยของ เจียรนัย เล็กอุทัย [18] การพัฒนาสร้างเครื่องมือทดสอบววนฮีเตอร์ซีสของค่าโพลาริเซชันและสนามไฟฟ้าสำหรับวัสดุเฟอร์โรอิเล็กทริก งานวิจัยนี้ได้ใช้กรงฟาราเดย์ป้องกันไฟฟ้ารั่ว เนื่องจากมีการป้อนสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นสูงในอุปกรณ์จับชิ้นงาน

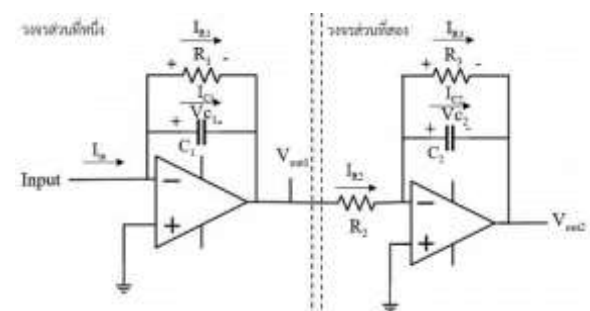
งานวิจัยของ ญัฐดนัย ทองชมพู [19] การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของไฟฟ้าที่มีต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการป้องกัน งานวิจัยนี้ได้ใช้กรงฟาราเดย์ป้องกันผลกระทบจากค่าของสนามแม่เหล็ก เพื่อการควบคุมในส่วนของปริมาณแสง ระยะห่างในการทดสอบรวมถึงการตรวจวัด ในการออกแบบอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบ

2.4.เครื่องมือวัด

เพื่อที่จะสามารถอ่านค่าได้จากเครื่องออสซิลโลสโคป จึงต้องมีวงจรขยายแรงดันเพื่อใช้วัดปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ได้จำลองขึ้นมา ซึ่งผู้วิจัยไม่มีเครื่องมือในการวัดค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริง จึงได้ศึกษาและเลือกใช้ระบบการวัดประจุจากงานวิจัยการศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าสถิตและจุลศาสตร์ไฟฟ้าอนภาคในน้ำมันฉนวน [20] โดยจะใช้ระบบการวัดประจุที่ประกอบไปด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรถูกอินทิเกรเตอร์และวงจรขยายสัญญาณต่ออนุกรมกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 ลักษณะการทำงานของวงจรเมื่อมีแรงดันขาเข้า (V_{in}) กระแสของวงจรในช่วงเริ่มต้นจะไหลมาที่ตัวเก็บประจุ เนื่องจากตัวเก็บประจุ (C_1) มีค่าเป็น 0 เวลาผ่านไปนานกระแสไหลจะผ่านตัวต้านทานเนื่องแรงดันอัดตัวเก็บประจุ (C_1) ใกล้เคียงแล้วแรงดันขาออก (V_{out}) ต้องอยู่ในฟังก์ชันประจุ กระแสจึงถูกบังคับให้ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (C_1) วิธีการปรับค่าคงที่

ของเวลา (Time constant) ให้มากกว่าเวลา ที่ใช้ในการทดลองสามารถได้โดยปรับค่าความต้านทานและตัวเก็บประจุ ผลลัพธ์แรงดันขาออก (V_{out}) ที่ได้จะมีค่าส่วนกลับของแรงดันตัวเก็บประจุ ($-V_0$) แรงดัน (V_{out}) ของวงจรที่หนึ่งคือแรงดันขาเข้า (V_{in}) ของวงจรที่สอง เมื่อแรงดันไหลผ่านตัวต้านทาน R_2 และ R_3 ตามลำดับ ตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าน้อยมากเพราะต้องการขยายแรงดันขาออกของวงจร ที่หนึ่ง (V_{out}) ที่มีค่าน้อยมาก ๆ สัญญาณที่ไหลออกจากตัวต้านทานคือสัญญาณแรงดันขาออก (V_{out}) ทำหน้าที่ขยายแรงดันแบบกลับขั้วให้มีค่าเพิ่มขึ้นดังสมการ

$$A_v = -R_3/R_2 \text{ เท่า} \quad (4)$$



รูปที่ 2 วงจรออปแอมป์แบบอินทิเกรตส่วนที่หนึ่งและวงจรขยายส่วนที่สอง [16]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการทดลองในรูปแบบจำลองเนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณ ระยะเวลาและวิธีการทดลองที่อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตซิลิโคนในอุตสาหกรรมซิลิโคนแห่งประเทศไทย ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาวิธีการสร้างประจุไฟฟ้าสถิตโดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสถิต (Van de Graaff Generator) [21] เพื่อนำมาต้นแบบในการศึกษาวิธีการสร้างประจุไฟฟ้าและนำประจุไฟฟ้าออกมาเพื่อนำมาพิสูจน์ความสามารถในการป้องกันไฟฟ้าสถิตโดยใช้เทคนิคกรงฟาราเดย์และใช้เครื่องมือวัดที่จะใช้ในการวัดผลปริมาณไฟฟ้าสถิต

3.1.การออกแบบและจัดสร้างระบบต่าง ๆ

3.1.1. ลักษณะการเกิดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการกรองซิลิโคนเกิดจากการที่ซิลิโคนเสียดสีหรือเคลื่อนที่

ผ่านผ้าไนลอนด้วยแรงดันขนาด 150–200 บาร์ ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนอย่างรุนแรง ผู้วิจัยจึงได้ใช้วัสดุที่เป็นไปตามทฤษฎีไดรโบอิเล็กทริกซึ่งใช้ในการเสียดสีเพื่อสร้างประจุไฟฟ้าสถิตได้แก่ ท่อ PVC ขนาด 1 นิ้ว ยาว 16 เซนติเมตร และผ้าไนลอน ขนาด 25×30 เซนติเมตร และอุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่ อิเล็กทรอนิกส์รับประจุ ขนาด 20×20 มิลลิเมตร อะลูมิเนียมทรงกระบอก ขนาด 245 มิลลิเมตร มอเตอร์พัดลมขนาด 16 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 3

หลักการทำงานเมื่อกดเปิดมอเตอร์ท่อ PVC จะหมุนเพื่อเสียดสีกับผ้าไนลอนและเกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่างวัตถุอิเล็กทริกจะทำหน้าที่รับประจุไฟฟ้าส่งไปยังกระป๋องอะลูมิเนียมเพื่อแพร่สนามแม่เหล็กไฟฟ้าออก วัตถุที่อยู่บริเวณรอบ ๆ กระป๋องอะลูมิเนียมจะถูกเหนี่ยวนำและในที่สุดจะมีการคายประจุไฟฟ้าสถิตออกมา



รูปที่ 3 แสดงภาพจริงของเครื่องสร้างไฟฟ้าสถิต

3.1.2 ระบบการวัดประจุไฟฟ้า จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4 ได้แก่ อิเล็กทรอนิกส์ ขนาด 10×10 เซนติเมตร ทำหน้าที่รับประจุไฟฟ้า วงจรขยายสัญญาณ ซึ่งจะประกอบไปด้วยวงจรอินทิเกรเตอร์ วงจรขยายสัญญาณต่ออนุกรม ซึ่งจะถูกต่อเข้ากับไฟ 24 Vdc ใช้ตัวเก็บประจุ $C_s = 0.1 \mu F$ เพื่อกรองสัญญาณความถี่สูง จึงเลือกใช้ฟารามิเตอร์ของวงจรอินทิเกรเตอร์ ที่ $R_0 =$ ความต้านทานของสายไฟ $R_1 = 500 \text{ k}\Omega$ $C_1 = 2200 \text{ pF}$ วงจรขยายมีค่า $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_3 = 500 \text{ k}\Omega$ $C_2 = 100 \text{ pF}$ ซึ่งวงจรส่วนที่สองมีอัตราขยาย -500 เท่า และออสซิลโลสโคปรุ่น GSD-2074A จะทำหน้าที่แสดงผลรูปคลื่นในลักษณะของรูปคลื่น



รูปที่ 4 ระบบวัดประจุไฟฟ้าสถิต

3.1.3 กรงฟาราเดย์ เป็นวัสดุที่ทำมาจากลวดอะลูมิเนียมสานกันเป็นตาข่ายเรียกว่า ตาข่ายอะลูมิเนียม ซึ่งสามารถจัดซื้อได้ดังรูปที่ 5 มีขนาด 210×290 มิลลิเมตร ขนาดของลวด 0.3 มิลลิเมตร และขนาดช่องตาข่ายมีขนาด 2×2 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 ตาข่ายอะลูมิเนียม

4. วิธีการและผลการทดลอง

4.1. วิธีการทดลอง

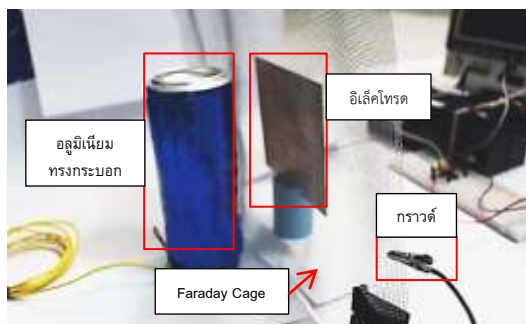
ผู้วิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ การทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยที่ไม่ติดตั้งกรงฟาราเดย์ การทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยติดตั้งกรงฟาราเดย์ และการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยติดตั้งกรงฟาราเดย์และกราวด์ร่วมด้วย

การทดลองนี้จะต้องมีการติดตั้งระบบต่าง ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 ซึ่งระยะห่างระหว่างอะลูมิเนียมทรงกระบอกและแผ่นอิเล็กทรอนิกส์รับประจุไฟฟ้าจะห่างกันด้วยระยะ 3.5 เซนติเมตรในทุกรูปแบบ เนื่องจากระยะห่างมีผลต่อแรงกระทำระหว่างประจุ [22] โดยสมการดังนี้

$$F = Kq_1q_2/r^2 \quad (5)$$

โดยที่ F คือ แรงกระทำระหว่างประจุ มีหน่วยเป็น นิวตัน K คือ ค่าคงที่ 9×10^9 q_1 คือ ประจุไฟฟ้าจุดที่ 1 มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ q_2 คือ ประจุไฟฟ้าจุดที่ 2 มีหน่วยเป็น คูลอมบ์ r = ระยะห่างระหว่างจุดประจุ มีหน่วยเป็นเมตร

ในกรณีที่มีการติดตั้งกรงฟาราเดย์จะมีวางตำแหน่ง ตรงกลางระหว่างทรงกระบอกและแผ่นอิเล็กโทรด และการติดตั้งกราวด์จะติดกับกรงฟาราเดย์



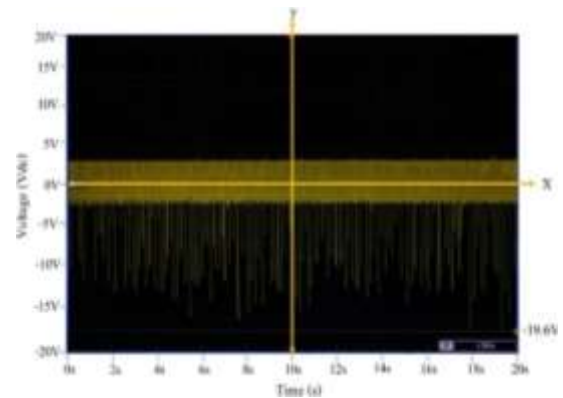
รูปที่ 6 การวางตำแหน่งของอะคูมิเนียมทรงกระบอกกรง ฟาราเดย์ติดตั้งระบบกราวด์ และแผ่นอิเล็กโทรด

4.2.วิธีการเก็บผลการทดลอง

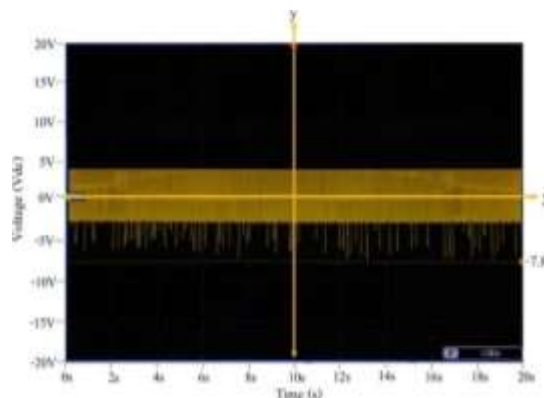
ห้องทดลองมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ที่เป็น ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดันไฟฟ้าสถิต [3] และอีก ทั้งยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของซิลิโคน ดังนั้นผู้วิจัยจึง ได้มีการควบคุมอุณหภูมิห้องโดยอ้างอิงค่าจากห้องที่ใช้ใน กระบวนการกรองซิลิโคน โดยมีอุณหภูมิห้องที่ 25 องศา เซลเซียส และความชื้นที่ 47%HR ปรับออสซิลโลสโคป สเกลแรงดัน DC 5V คาบเวลา (T) 2s เก็บผลการทดลอง 40 ครั้ง ครั้งละ 20 วินาที โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เปิดเครื่องออสซิลโลสโคปและปรับวัดสเกลวัด แรงดันที่ DC 5V และเวลา 2s
2. เปิดมอเตอร์เพื่อหมุนท่อ PVC ให้เสียดสีกับผ้า ไนลอน
3. เมื่อครบเวลา 20 วินาที จึงกด Stop ที่เครื่อง ออสซิลโลสโคป และมอเตอร์พัฒตามลำดับ
4. ถ่ายภาพและเก็บผลการทดลอง

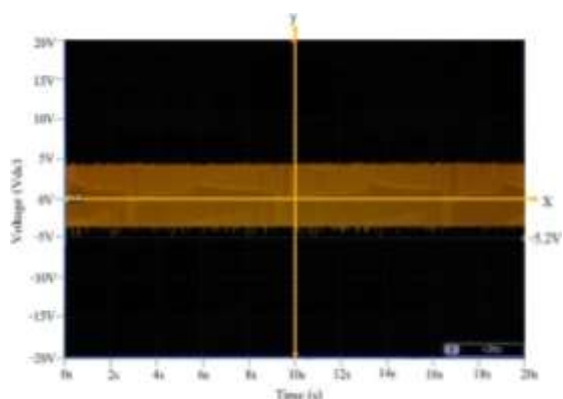
จากการทดลองวัดผลทั้ง 3 รูปแบบแสดงให้เห็นว่าใน ช่วงเวลาการทดลอง 20 วินาที ค่าปริมาณไฟฟ้ามีการ เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 7-9 ผู้วิจัยจึงได้เลือกเก็บผลแรงดัน (ΔV) สูงสุดของช่วงเวลา การทดลองในแต่ละรูปแบบ



รูปที่ 7 ตัวอย่างผลการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดย ที่ไม่ติดตั้งกรงฟาราเดย์



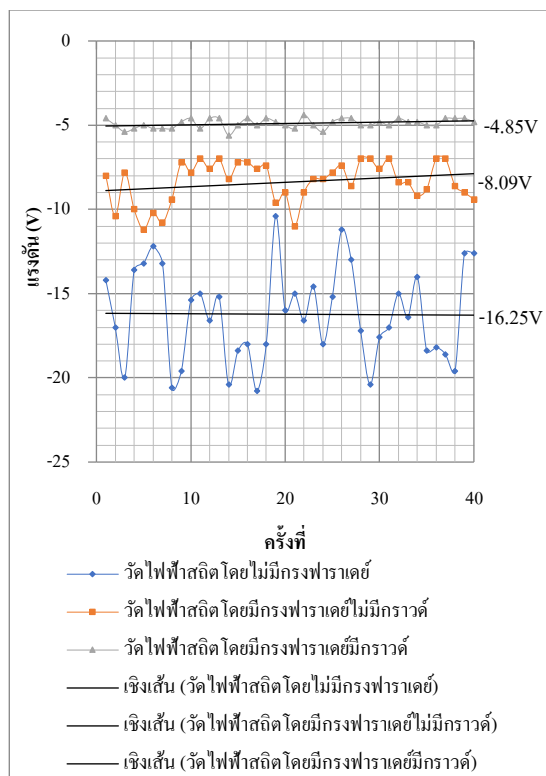
รูปที่ 8 ตัวอย่างผลการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิต โดยติดตั้งกรงฟาราเดย์



รูปที่ 9 ตัวอย่างผลการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าสถิต โดยติดตั้งกรงฟาราเดย์และกราวด์

4.3.ผลการทดลอง

รูปที่ 10 จากกราฟผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าการทดลองในรูปแบบที่ 1 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่ได้ทำการทดลองในแต่ละครั้งมีที่ค่าไม่คงที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เกิดจากปริมาณไฟฟ้าสถิตหลงเหลืออยู่ในวัตถุ และการออกแรงจับผ้าในลอนเพื่อให้เกิดเสียดสีกับท่อ PVC ในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนไม่เท่ากันส่งผลทำให้การวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตมีค่าไม่คงที่และวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยเฉลี่ยได้ -16.25 โวลต์ การทดลองในรูปแบบที่ 2 สังเกตได้ว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่วัดได้ในแต่ละครั้งมีค่าลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการทดลองในรูปแบบที่ 1 และยังไม่มีความคงที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เช่นเดียวกัน โดยสามารถวัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยเฉลี่ยได้ -8.09 โวลต์ การทดลองในรูปแบบที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตลดลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการทดลองในรูปแบบที่ 1 และ 2 ยังคงค่าไม่คงที่ขึ้น ๆ ลง ๆ เพียงเล็กน้อย วัดปริมาณไฟฟ้าสถิตโดยเฉลี่ยได้ -4.85 โวลต์



รูปที่ 10 กราฟผลการทดลอง

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

5.1.สรุปผลการทดลอง

การทดลองในรูปแบบที่ 1 จะมีค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตเฉลี่ยที่ -16.52 โวลต์ เมื่อเทียบกับปริมาณไฟฟ้าของการทดลองในรูปแบบที่ 2 และ 3 จะแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตลดลงถึง 8.43 โวลต์ และ 11.67 โวลต์ หรือเปรียบเทียบเป็นปริมาณร้อยละ 51% และ 71% ลดลงตามลำดับ

5.2.อภิปรายผลการทดลอง

จากข้อสรุปผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรงฟาราเดย์สามารถลดปริมาณไฟฟ้าสถิตได้ซึ่งเป็นตามทฤษฎีของกรงฟาราเดย์ กรงฟาราเดย์ที่ผู้วิจัยได้นำมาทดลองสามารถกีดขวางคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกมาได้เป็นบางส่วนส่งผลทำให้เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตไปยังอิเล็กโทรดของระบบการวัดได้น้อยลงถึง 51% และยังมีประจุไฟฟ้าบางส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่ในลวดตาข่าย เนื่องจากไม่มีการติดตั้งระบบการวัดเพื่อให้อิเล็กโทรดลงสู่พื้นดิน เมื่อกรงฟาราเดย์มีการติดตั้งระบบการวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำประจุภายในกรงฟาราเดย์ส่งผลทำให้ประจุที่อยู่พื้นผิวโลกจะเคลื่อนที่ขึ้นมาตามแรงเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้กรงฟาราเดย์มีประสิทธิภาพในการกีดขวางมากขึ้นถึง 71% ระบบการวัดที่ได้ค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่นำมาใช้ในการทดลองยังไม่ใช้ค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริงเนื่องจากผู้วิจัยไม่มีเครื่องมือที่สามารถวัดค่าปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริง

ดังนั้นการนำกรงฟาราเดย์มาใช้ในระบบการทำงานจริงยังต้องมีการศึกษาและทดสอบเพื่อหาปริมาณไฟฟ้าสถิตที่แท้จริง ความเหมาะสมของขนาดกรงฟาราเดย์ และลักษณะการติดตั้งกรงฟาราเดย์ในกระบวนการกรองซิลิโคนเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการ wi (Work-integrated Learning) โดยได้รับความร่วมมือจาก

บริษัท ShinEtsu Silicone (Thailand Limited) และคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. C. Shit and P. Shah, "A review on silicone rubber," *National Academy Science Letters*, vol. 36, no. 4, pp. 355–365, 2013.
- [2] K. E. Polmanteer, "Silicone rubber, its development and technological progress," *Rubber chemistry and technology*, vol. 61, no. 3, pp. 470–502, 1988, doi: 10.5254/1.3536197.
- [3] S. Srirod, and P. Damrongkulkamjorn, "Reduction of Electrostatic Hazards in Textile Finishing Plants," *Kasetsart Engineering Journal*, vol. 22, no. 69, pp.1–12, 2009.
- [4] S. Pan and Z. Zhang, "Fundamental theories and basic principles of triboelectric effect: A review," *Friction*, vol. 7, no. 1, pp. 2–17, 2019, doi: 10.1007/s40544-018-0217-7.
- [5] M. A. Kelly, G. E. Servais, and T. V. Pfaffenbach, "An investigation of human body electrostatic discharge," in *the 19th International Symposium for Testing & Failure Analysis*, Los Angeles, CA, USA, Nov. 15–19, 1993, pp. 167–173.
- [6] A. Wattanahuttakum, S. Deeum, and B. Limpiyapun, "Effect of electrostatic on weighing accuracy," *Bulletin of Applied Sciences*, vol. 8, no. 8, pp. 64–71, 2019.
- [7] N. Jai-ngam. "Reduction of defects from electrostatic discharge in the head gimbal stack assembly line by applying the six sigma method," M.S. diss., Dept. Ind. Eng., Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 1999.
- [8] S. Arunsawad, "Preparation of Graphene/Poly (Pyrrole-co- Formyl Pyrrole) Composites for Antistatic Polyurethane Coating," M.S. diss., Dept. Petrochemistry and Polymer Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2014.
- [9] P. Nuamcharoen, "Physical properties of reduced graphene oxide/poly (butylene succinate) composites," M.S. diss., Dept. Petrochemistry and Polymer Sciences, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2015.
- [10] K. Sathansatit, S. Chousakul, W. P. Ouajai and S. Ouajai, "Mechanical, Thermal and Electrical Properties of LLDPE Filled with Polypyrrole and Carbon Black," *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 21, no. 2, pp. 349–356, 2011.
- [11] W. Srihata and S. Kaewpirom, "Anti-electrostatic Discharge Materials from Chitosan/poly (ethylene glycol) Blends," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 1–10, 2013.
- [12] S. Damrongkittikul, D. Saenrak et al., *CODE OF PRACTICE FOR DESIGN, INSTALLATION, INSPECTION AND TESTING OF GROUNDING SYSTEM*. Council of Engineers, Bangkok, Thailand, 2011.
- [13] M. Chaoluang, P. Sanposh and W. Kanokbannakorn, "ANALYSIS OF GROUNDING SYSTEM FOR SAFETY IN GAS PRODUCTION AND GAS FILLING PLANT," *Srinakharinwirot University (Journal of Science and Technology)*, vol. 9, no. 18, pp. 136–149, 2017.
- [14] M. Pusayatanont and B. Sookananta, "External Lightning Protection Systems," *UBU Engineering Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 112–124, 2013.
- [15] S. J. Chapman, D. P. Hewett and L. N. Trefethen, "Mathematics of the Faraday cage," *Siam Review*, vol. 57, no. 3, pp. 398–417, 2015.

- [16] N. A. Zakaria, R. Sudirman and M. N. Jamaluddin, "Electromagnetic Interference Effect from Power Line Noise in Electrocardiograph Signal using Faraday Cage," in 2008 IEEE 2nd International on Power and Energy Conference, Johor Baharu, Malaysia, Dec. 1–3, 2008, pp. 666–671. doi: 10.1109/PECON.2008.4762559.
- [17] E. T. Whittaker, "Albert Einstein, 1879–1955," *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, vol. 1, pp. 37–67, 1955, doi: 10.1098/rsbm.1955.0005.
- [18] J. Lekuthai, B. Cherdhirunkorn and J. Panityotai, "Development of the Polarization-Electric Field Hysteresis Loop Measurement Set for Ferroelectric Materials," *Thai Science and Technology Journal (TSTJ)*, vol. 23, no. 3, pp. 466–474, 2015.
- [19] N. Thongchompoo, "A Study and Analysis of Lightning Effects on PV and Protection," M.S diss., Dept. Electr. Eng., Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand.
- [20] P. Rojthanawanit, "Study on the electrostatic and electrokinetic characteristics of particles in an insulating oil," M.S. diss. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2019.
- [21] J. W. Boag, "The design of the electric field in a Van de Graaff generator," in *Proceedings of the IEE-Part IV: Institution Monographs*, vol.100, no. 5, pp. 63–82, 1953, doi: 10.1049/pi-4.1953.0010.
- [22] M. Kim, Y. Cheong and J. Song, "The meanings of physics equations and physics education," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 73, no. 2, pp. 145–151, 2018, doi: 10.3938/jkps.73.145.

การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารโครงการย่อยของทางหลวง

Performance Enhancement of Highway Subproject Management

วิทยา ศรีสมบุญ¹ ณรงค์ฤทธิ์ ว่องไว^{2,*} ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลิ³ และ โสภณ วีระวัฒน์ยิ่งยง⁴

¹คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

เชิงศรีเมือง เมืองสกลนคร สกลนคร 47000

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชาทุ่งสุขลา ศรีราชา ชลบุรี 20230

³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

⁴สำนักแผนงาน กรมทางหลวง ทุ่งพญาไท ราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400

Wittaya Srisomboon¹ Narongrit Wongwai^{2,*}, Suphawut Malaikrisanachalee³ and Sopon Weravattanayingyong⁴

¹Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalemphrakiat Sakon Nakhon Province Campus,

Chiang Khrua, Mueang Sakon Nakhon, Sakon Nakhon, 47000, Thailand

²Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus,

Thung Sukhla, Sriracha, Chonburi, 20230, Thailand.

³Faculty of Engineering, Kasetsart University, Lat Yao, Chatuchak, Bangkok, 10900, Thailand

⁴Bureau of Planning, Department of Highways, Thung Phaya Thai, Ratchathewi, Bangkok, 10400, Thailand

*Corresponding Author E-mail: narongrit@eng.src.ku.ac.th

Received: Aug 19, 2021; Revised: Aug 30, 2021; Accepted: Aug 30, 2021

บทคัดย่อ

โครงการย่อยของทางหลวงมีกิจกรรมก่อสร้างหลายประเภททำให้เกิดความยุ่งยากในการพิจารณาจัดสรรงบประมาณ ปัจจุบันเกณฑ์จัดลำดับความสำคัญโครงการยังคงต้องปรับปรุงให้สอดคล้องตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเพื่อให้การจัดสรรงบประมาณตอบสนองกับความต้องการของประชาชนอย่างแท้จริง งานวิจัยนี้ประยุกต์การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์สำหรับการพัฒนาการจัดลำดับความสำคัญของโครงการเพื่อวิเคราะห์แผนงานโครงการย่อยระยะ 10 ปี เกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจถูกกำหนดให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์กระทรวงและหน่วยงาน ยุทธศาสตร์เชิงพื้นที่ และยุทธศาสตร์เฉพาะของรัฐบาล น้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจถูกคำนวณด้วยหลักการจัดลำดับค่าน้ำหนักศูนย์กลาง ระบบฐานข้อมูลและเว็บแอปพลิเคชันถูกพัฒนาขึ้นสำหรับรวบรวมประเด็นปัญหาจากแนวทางหลวงทั้ง 18 เขตทั่วประเทศและเชื่อมโยงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์ค่าคะแนนมาตรฐานด้วยวิธีการซ้อนทับของข้อมูลและทฤษฎีอรรถประโยชน์พหุลักษณะ การจัดสรรงบประมาณประจำปีถูกพิจารณาตามคะแนนความสำคัญโดยการพิจารณาค่าเกณฑ์คะแนนและค่าเผื่อของคะแนน วิธีที่นำเสนอสามารถทำให้ประหยัดงบประมาณแผ่นดินได้สูงถึง 16,324 ล้านบาท (17%) เกิดประโยชน์ต่อประชาชน 199,975 ครัวเรือน พัฒนาศูนย์กลางชุมชน 4,503 แห่ง ปัญหาได้รับการแก้ไข 5,477 ปัญหา และพัฒนาเส้นทางยุทธศาสตร์ 2,890 เส้นทาง

คำสำคัญ: โครงการย่อยของทางหลวง, การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์, การจัดลำดับความสำคัญ, เส้นทางยุทธศาสตร์

Abstract

Highway subprojects have numerous activities; therefore, it is very complicated to allocate the annual budget. Nowadays, project prioritization criteria still need to be updated following engineering economic principles so that the budget allocation can fulfill the people's requirements. This research applied multi-criteria decision analysis for developing project prioritization to analyze ten years subproject plan. The decision criteria/factors were defined following the ministry and agency strategies, area strategies, and government-specific strategies. Weights of each decision criteria/factor calculated with rank-order centroid weight. The database and web application developed to collect the problem issues from 18 nationwide highway districts and connect data from related databases to analyze the normalized score with the data overlay method and multi-attribute utility theory. The fiscal year budget allocation will be considered following the priority score, where the score threshold and tolerance were considered. The proposed method can save 16,324 million baht (17%) of annual government statement of expenditure, produce beneficial for 199,975 households, develop 4,503 community activities centers, solve 5,477 problems and develop 2,890 strategic routes.

Keywords: Highway Subproject, Multi-Criteria Decision Analysis, Prioritization, Strategic Route

1. บทนำ

โครงการย่อยเป็นโครงการก่อสร้างขนาดเล็กของกรมทางหลวงที่ดำเนินการภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี มีลักษณะเป็นการก่อสร้างทางและสะพานเพื่อแก้ไขปัญหาและพัฒนาทางหลวงให้รองรับความเจริญและการขยายตัวของเศรษฐกิจ สังคม การท่องเที่ยว ตลอดจนเพิ่มความสะดวก รวดเร็ว และความปลอดภัยของผู้ใช้ทาง ประกอบด้วยกิจกรรม 3 ประเภท คือ 1. กิจกรรมปรับปรุงทางหลวงผ่านย่านชุมชน เพื่อแก้ปัญหาด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจ สังคม และความปลอดภัยของชุมชน 2. กิจกรรมยกระดับมาตรฐานและเพิ่มประสิทธิภาพทางหลวง เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น และ 3. กิจกรรมก่อสร้างปรับปรุง สะพานและอาคารระบายน้ำ เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และปลอดภัยของสะพานและท่ออุโมงค์บนทางหลวงและป้องกันปัญหาน้ำท่วมขัง

โครงการย่อยมีกิจกรรมก่อสร้างหลายประเภทดังกล่าวจึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการพิจารณาจัดสรรงบประมาณ เนื่องจากแต่ละกิจกรรมมีเหตุผลความจำเป็นและลักษณะเฉพาะแตกต่างกัน แม้ในปัจจุบันกรมทางหลวงจะ

มีหลักเกณฑ์เบื้องต้นสำหรับผู้เชี่ยวชาญของสำนักแผนงาน กรมทางหลวงพิจารณาถ่วงน้ำหนักและจัดลำดับความสำคัญของแผนงานโครงการย่อย แต่ยังไม่สอดคล้องตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ส่งผลให้การจัดสรรงบประมาณไม่สอดคล้องกับความต้องการของประชาชน นอกจากนี้กรมทางหลวงยังขาดฐานข้อมูลและแผนปฏิบัติการระยะยาวที่สนับสนุนการตัดสินใจพิจารณาจัดลำดับความสำคัญของแผนงานโครงการย่อย

วิธีการวิเคราะห์การตัดสินใจสำหรับประเมินลำดับความสำคัญของโครงการที่ใช้กันทั่วไปในต่างประเทศมีหลายวิธี โดยวิธีที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดคือทฤษฎีพหุตัวแปร (Multi-Attribute Theory) อาทิเช่น 1. กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) [1-5] ใช้ค่าถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์และคะแนนทางเลือก ซึ่งมีพื้นฐานมาจากการเปรียบเทียบเกณฑ์และทางเลือกเป็นรายคู่ตามลำดับโดย 1 ใน 3 ของการประเมินโครงการด้านคมนาคมขนส่งทั่วโลกใช้วิธีนี้และใช้กันมากที่สุดในประเทศสหรัฐอเมริกา อย่างไรก็ตามค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มาจากการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ว่าไม่สะท้อนถึงความต้องการของแต่ละคนอย่างแท้จริงโดยเฉพาะการใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ซึ่งอาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่สมเหตุผล 2. ทฤษฎีฟัซซีเซต (Fuzzy Set Theory) [6–8] ใช้ในการแก้ปัญหาซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่ไม่แม่นยำและไม่แน่นอน ในด้านการประเมินลำดับความสำคัญของโครงการมีงานวิจัยที่ใช้วิธีนี้ถึงร้อยละ 14 อย่างไรก็ตามการพัฒนากระบวนการมีความยุ่งยากในบางกรณี และมีความจำเป็นจะต้องทำการจำลองเหตุการณ์หลาย ๆ ครั้งก่อนนำไปใช้ในสถานการณ์จริง 3. วิธี The Multi-Actor Multi-Criteria Analysis (MAMCA) [9–11] เป็นการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุหลักเกณฑ์ภายใต้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียหลายคนโดยนำวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในทุกปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาประกอบพิจารณาในด้านประเมินลำดับความสำคัญของโครงการมีงานวิจัยที่ใช้วิธีนี้มากถึงร้อยละ 12 อย่างไรก็ตามการถ่วงน้ำหนักของเกณฑ์การพิจารณาต้องดำเนินการอย่างรอบคอบเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากความลำเอียงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ 4. วิธี ELECTRE (Elimination Et Choix Traduisant La Realite) [12–14] คิดค้นขึ้นในประเทศฝรั่งเศสช่วงระหว่างปลายทศวรรษที่ 70 ถึงต้นทศวรรษที่ 80 และใช้กันอย่างแพร่หลายในฝรั่งเศสช่วงระหว่างทศวรรษที่ 80 วิธีนี้ถูกนำมาใช้ในด้านประเมินลำดับความสำคัญของโครงการประมาณร้อยละ 7 และ 5. วิธี PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) [15–17] เป็นวิธีการจัดเรียงลำดับ (Outranking Method) สำหรับกลุ่มของทางเลือกที่มีอยู่อย่างจำกัดซึ่งจะได้รับการจัดเรียงและคัดเลือกตามหลักเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ซึ่งมักจะขัดแย้งกันเองวิธีดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการประเมินลำดับความสำคัญของโครงการประมาณร้อยละ 6 อย่างไรก็ตามวิธี ELECTRE และวิธี PROMETHEE ไม่สามารถแนะนำในบางเกณฑ์ที่ตีความชัดเจนคะแนนที่เสียไปจากเกณฑ์ที่ได้คะแนนน้อย และหลักการทำงานของวิธีนี้มักจะมีความสลับซับซ้อนและไม่สามารถเข้าใจได้โดยผู้มีอำนาจตัดสินใจ ในปี ค.ศ. 2006 Linkov et al. [18] ได้ทบทวนแนวทางการพัฒนาและ

ประยุกต์ใช้เครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจพบว่าการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision Analysis) เป็นเทคนิคที่ช่วยการตัดสินใจได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ โดยมีจุดเด่นที่ใช้เมทริกซ์การตัดสินใจ และเป็นวิธีซึ่งมีโครงสร้างที่มีการบูรณาการความคิดเห็นของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการในการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือก

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อให้การดำเนินงานพัฒนาและปรับปรุงทางหลวงทั่วประเทศเป็นไปตามลำดับความสำคัญและความจำเป็นเร่งด่วนที่แท้จริง เพื่อให้การจัดสรรงบประมาณที่มีอยู่จำกัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อให้การพัฒนาทางหลวงเป็นไปอย่างมีระเบียบแบบแผนในทิศทางเดียวกัน และเกิดความชัดเจนถึงความจำเป็นในการใช้งบประมาณในแต่ละกิจกรรมบนพื้นฐานของข้อมูลและเหตุผลที่ถูกต้องและครบถ้วน

2. วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยประยุกต์การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ [18] เพื่อพัฒนาแนวทางการจัดลำดับความสำคัญของแผนงานโครงการย่อย โดยพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับรวบรวมสภาพปัญหาจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจัดทำแผนงานโครงการย่อยระยะ 10 ปี มีรายละเอียดดังนี้

2.1. กำหนดเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจ

ผู้วิจัยได้ศึกษาและวิเคราะห์ยุทธศาสตร์ระดับประเทศและยุทธศาสตร์ท้องถิ่นดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย 1. ยุทธศาสตร์กระทรวงและหน่วยงาน (Function) 2. ยุทธศาสตร์พื้นที่ (Area) และ 3. ยุทธศาสตร์เฉพาะของรัฐบาล (Agenda) โดยประชุมหารือร่วมกับผู้เชี่ยวชาญของสำนักแผนงาน กรมทางหลวง จำนวน 6 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานทางหลวงทั้ง 18 เขต ทั้งประเทศจำนวน 259 ท่าน จนได้มาซึ่งเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจสำหรับจัดลำดับความสำคัญของแผนงานโครงการย่อยของกรมทางหลวง



รูปที่ 1 กรอบยุทธศาสตร์ที่ดำเนินการศึกษา

2.2.คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจ

ผู้วิจัยให้ผู้เชี่ยวชาญของสำนักแผนงาน กรมทางหลวง จำนวน 6 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญจากสำนักงานทางหลวง จำนวน 18 ท่าน (ตัวแทนจากสำนักงานทางหลวงเขตละ 1 ท่าน) ระบุลำดับความสำคัญของแต่ละเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจ อาทิเช่น ระบุลำดับความสำคัญ 1-5 สำหรับเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจที่มีจำนวน 5 ตัวเลือก เป็นต้น จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของลำดับความสำคัญเพื่อมาคำนวณน้ำหนักความสำคัญ หากเป็นเกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจที่สามารถเลือกได้หลายทางเลือก อาทิเช่น เกณฑ์การแก้ปัญหาเชิงพื้นที่ซึ่งสามารถเลือกได้หลายปัญหาที่ได้รับการแก้ไข ใช้การจัดลำดับค่าน้ำหนักศูนย์กลาง (Rank-Order Centroid Weight) [19] ดังสมการที่ (1)-(3) สำหรับปัจจัยตัดสินใจที่สามารถเลือกได้เพียงทางเลือกเดียว อาทิเช่น มาตรฐานชั้นทางปัจจุบัน หรือมาตรฐานชั้นทางหลังการปรับปรุง เป็นต้น ใช้หลักการคำนวณดังสมการที่ (4)

$$u_{(j, k, p)} = \frac{1}{z} \sum_{s=p}^z \frac{1}{r_{(j, k, p, s)}} \quad (1)$$

$$v_{(j, k)} = \frac{1}{n} \sum_{h=k}^n \frac{1}{r_{(j, k, h)}} \quad (2)$$

$$u'_{(j, k, p)} = \frac{r_{(j, k, p, s)} - \min\{r_{(j, k, p, s)}\}}{\max\{r_{(j, k, p, s)}\} - \min\{r_{(j, k, p, s)}\}} \quad (3)$$

$$w_{(j)} = \frac{1}{m} \sum_{q=j}^m \frac{1}{r_{(j, q)}} \quad (4)$$

เมื่อ

$u_{(j, k, p)}$ = น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ p ที่เลือกได้หลายทางเลือกภายใต้เกณฑ์รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

$v_{(j, k)}$ = น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์รองที่ k ภายใต้เกณฑ์หลักที่ j

$w_{(j)}$ = น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลักที่ j

$u'_{(j, k, p)}$ = น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยที่ p ที่เลือกได้เพียงทางเลือกเดียวภายใต้เกณฑ์รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

$r_{(j, k, p, s)}$ = ลำดับความสำคัญที่ s ของปัจจัยที่ p ภายใต้เกณฑ์รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

z = จำนวนปัจจัยทั้งหมดภายใต้เกณฑ์รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

$r_{(j, k, h)}$ = ลำดับความสำคัญที่ h ของเกณฑ์รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

n = จำนวนเกณฑ์รองทั้งหมดภายใต้เกณฑ์หลักที่ j

$r_{(j, q)}$ = ลำดับความสำคัญที่ q ของเกณฑ์หลักที่ j

m = จำนวนเกณฑ์หลักทั้งหมด

2.3.คำนวณคะแนนความสำคัญแผนงานโครงการย่อย

ปัจจัยที่นำมาพิจารณาจัดลำดับความสำคัญ อาทิเช่น 1. ช่วงคะแนน (Interval Scale) ระบุเป็นค่าตัวเลข สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างและจัดลำดับได้ อาทิเช่น จำนวนประชากร ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในจังหวัด (Gross Provincial Product : GPP) 2. อัตราส่วน (Ratio Scale) ระบุเป็นค่าตัวเลข อัตราส่วนตัวแปร ในลักษณะค่าสัมบูรณ์ อาทิเช่น ความหนาแน่นประชากร 3. เรียงลำดับ (Ordinal Scale) ระบุเป็นค่าลำดับความสำคัญ อาทิเช่น มาตรฐานชั้นทางที่ 5, 4, 3, 2, 1 และพิเศษ และ 4. ระบุหรือกำหนดค่า (Nominal Scale) ระบุค่าปัจจัยแสดงอัตลักษณ์เฉพาะโดยค่าปัจจัยไม่มีนัยในเชิงปริมาณหรือการจัดลำดับ อาทิเช่น ประเภทเกษตรกรรม ประกอบด้วย กสิกรรม ปศุสัตว์ ประมง เป็นต้น

วิธีการให้คะแนนปัจจัยอาศัยหลัก 2 ประการ คือ 1. พิจารณาว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบในเชิงสนับสนุนหรือขัดแย้งกับวัตถุประสงค์ของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกล่าวคือ หาก

คะแนนความสำคัญของแผนโครงการย่อยเพื่อใช้ในการ
เรียงลำดับความสำคัญให้สูตรคำนวณดังสมการที่ (7)

$$y_{(i,j,k,p)} = \frac{x_{(i,j,k,p)} - \min\{x_{(i,j,k,p)}\}}{\max\{x_{(i,j,k,p)}\} - \min\{x_{(i,j,k,p)}\}} \quad (5)$$

$$y'_{(i,j,k,p)} = \frac{\max\{x_{(i,j,k,p)}\} - x_{(i,j,k,p)}}{\max\{x_{(i,j,k,p)}\} - \min\{x_{(i,j,k,p)}\}} \quad (6)$$

$$S_{(i)} = \sum_{j=1}^m w_{(j)} \cdot \sum_{k=1}^n v_{(j,k)} \cdot \sum_{p=1}^z (u_{(j,k,p)} \cdot y_{(i,j,k,p)}) \quad (7)$$

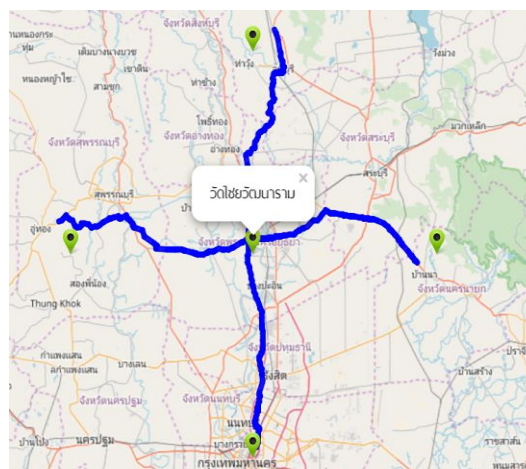
เมื่อ

$y_{(i,j,k,p)}$ = คะแนนมาตรฐานของแผนโครงการย่อยที่ i ของ
ปัจจัยที่ p ภายใต้เกณฑ์รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

$y'_{(i,j,k,p)}$ = คะแนนมาตรฐานของแผนโครงการย่อยที่ i ของ
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบเชิงบวกที่ p ภายใต้เกณฑ์
รองที่ k และเกณฑ์หลักที่ j

$Y''_{(i,j,k,p)}$ = คะแนนมาตรฐานของแผนโครงการย่อยที่ i ของ
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบเชิงลบที่ p ภายใต้เงื่อนไข
ที่ k และเงื่อนไขหลักที่ j

$S_{(i)}$ = คะแนนความสำคัญของแผน โครงการย่อยที่ i



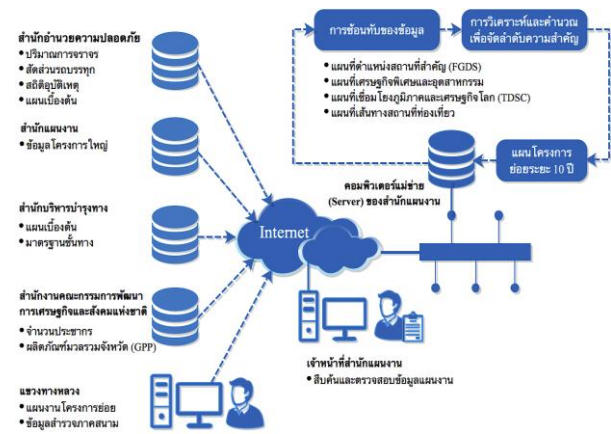
รูปที่ 2 ตัวอย่างการวิเคราะห์เส้นทางยุทธศาสตร์ท่องเที่ยว

2.4.เก็บรวบรวมข้อมูล

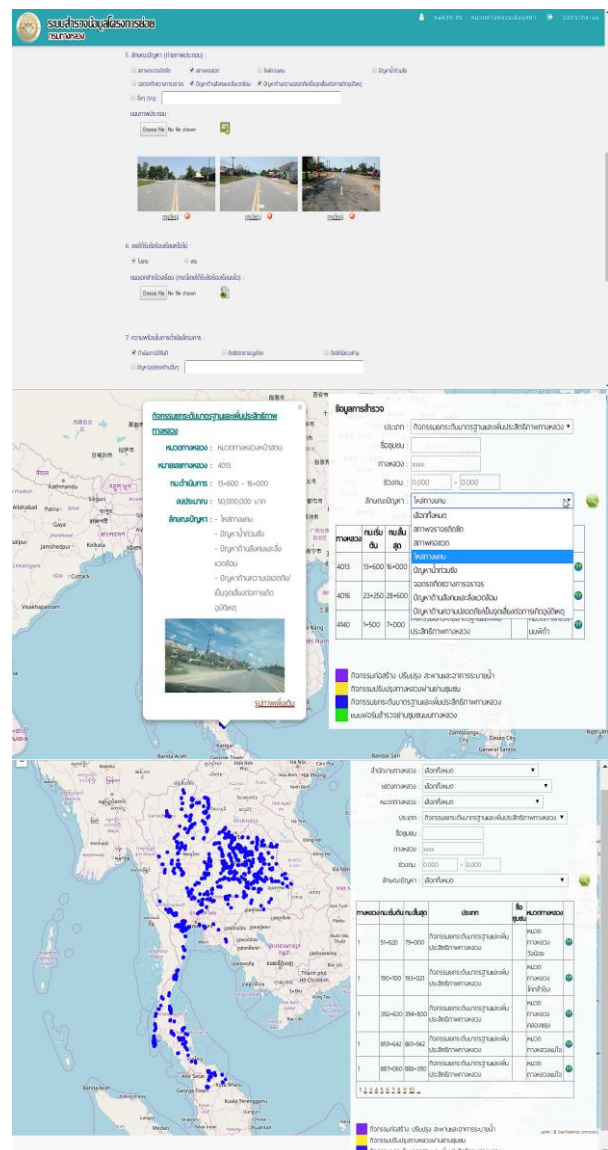
ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับเชื่อมโยงข้อมูล และสถิติประกอบการวิเคราะห์จากฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องดัง **รูปที่ 3** ประกอบด้วย 1. ปริมาณการจราจรจากฐานข้อมูลของ

สำนักอำนวยการความปลอดภัย 2. สัดส่วนรถบรรทุกจากฐานข้อมูลของสำนักอำนวยการความปลอดภัย 3. สถิติอุบัติเหตุจากฐานข้อมูลของสำนักอำนวยการความปลอดภัย 4. มาตรฐานชั้นทางจากฐานข้อมูลของสำนักบริหารบำรุงทาง 5. ข้อมูลโครงการใหญ่จากสำนักแผนงาน 6. แผนเบื้องต้นจากสำนักบริหารบำรุงทางและสำนักอำนวยการความปลอดภัย และ 7. จำนวนประชากรและผลิตภัณฑ์มวลรวมจังหวัด (GPP) จากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการรวบรวมข้อมูลและจัดเก็บในฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สำหรับใช้วิเคราะห์การซ้อนทับ (Overlay) เพื่อสนับสนุนเกณฑ์ความสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ ประกอบด้วย 1. แผนที่ตำแหน่งสถานที่สำคัญ (Fundamental Geographic Data Set : FGDS) เช่น สถานีราชการ สถานพยาบาล ศาสนสถาน ตลาด เป็นต้น เพื่อประกอบการระบุสถานที่ศูนย์กลางกิจกรรมของชุมชน 2. แผนที่เส้นทางเขตเศรษฐกิจพิเศษและอุตสาหกรรม 3. แผนที่เส้นทางเชื่อมโยงภูมิภาคและเศรษฐกิจโลกจากโครงการศูนย์รวมข้อมูลการขนส่งด้วยรถบรรทุก (Truck Data Service Center : TDSC) กรมการขนส่งทางบก ซึ่งเป็นโครงการที่ช่วยส่งเสริมให้ผู้ประกอบการขนส่งและประชาชนทั่วไปให้สามารถเข้าถึงข้อมูล สถิติ องค์ความรู้และเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการขนส่งสินค้าเพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแข่งขัน ขระดับมาตรฐานการดำเนินงานและเพิ่มความปลอดภัยในการขนส่งสินค้าทางถนน [22] และ 4. แผนที่เส้นทางสถานที่ท่องเที่ยวทั่วประเทศจากยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวของแต่ละจังหวัด

ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบฟอร์มสำหรับรวบรวมสภาพปัญหาและแผนงานโครงการย่อยจากแขวงทางหลวงทั้ง 18 เขตทั่วประเทศ ในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) รวมทั้งพัฒนาฐานข้อมูลและแผนที่สารสนเทศภูมิศาสตร์แสดงตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งชุมชนบนทางหลวงทั่วประเทศ แผนที่แสดงการกระจายตัวของสายทางที่ประสบปัญหา ดังรูปที่ 4



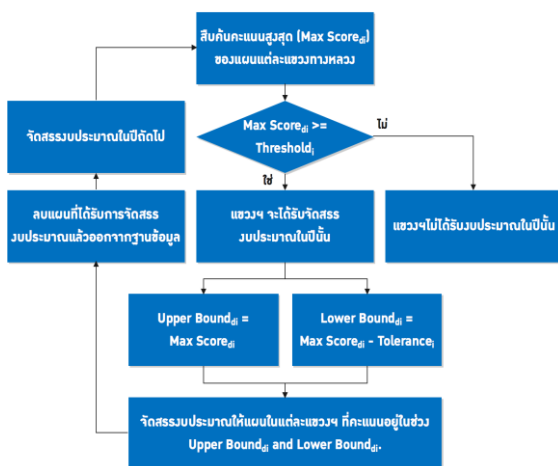
รูปที่ 3 การรวบรวมข้อมูลและจัดทำแผนงาน โครงการย่อย



รูปที่ 4 ระบบสารสนเทศสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล

2.5. จัดทำแผนงานโครงการย่อยระยะ 10 ปี

การทำแผนการจัดสรรงบประมาณโครงการย่อยของกรมทางหลวงระยะ 10 ปี ดำเนินการโดยนำผลการคำนวณคะแนนลำดับความสำคัญของแต่ละแผนที่ตั้งมาจากแนวทางหลวงทั้ง 18 เขตทั่วประเทศ มาเรียงลำดับแผนงานที่ได้คะแนนมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด และแบ่งงบประมาณทั้งหมดของ 3 กิจกรรมในแต่ละปีจำนวนเท่า ๆ กัน โดยหากคะแนนสูงสุด (Maximum Score) ของแต่ละแนวทางหลวงใดผ่านค่าเกณฑ์คะแนน (Threshold) ที่กำหนด จะได้รับการจัดสรรงบประมาณในปีนั้น และจัดสรรงบประมาณให้แผนในแต่ละแนวทางหลวงที่มีคะแนนไม่ต่ำกว่าเกณฑ์คะแนนต่ำที่สุดของแนวทางหลวงนั้น ๆ ซึ่งเป็นค่าเผื่อของคะแนน (Tolerance) ที่ต่ำกว่าคะแนนสูงสุด (Maximum Score) ของแนวทางหลวงนั้น ซึ่งการกำหนดค่าเกณฑ์คะแนน (Threshold) สูงจะทำให้แนวทางหลวงที่ได้รับการงบประมาณต่อปีมีน้อย ทำให้เกิดการกระจุกตัวของงบประมาณ แต่ถ้ากำหนดค่าเกณฑ์คะแนน (Threshold) ต่ำจะทำให้แผนที่มีความสำคัญต่ำได้รับงบประมาณ นอกจากนี้การกำหนดค่าเผื่อของคะแนน (Tolerance) สูงจะทำให้แต่ละแนวทางหลวงมีโอกาสได้รับแผนจำนวนมาก ทำให้เกิดการกระจุกตัวของงบประมาณ ในทางตรงกันข้ามถ้ากำหนดค่าเผื่อของคะแนน (Tolerance) ต่ำจะทำให้บางแผนงานที่มีความสำคัญเกือบสูงสุดในแต่ละปีต้องถูกเลื่อนไปทำในปีถัดไป แนวทางการจัดสรรงบประมาณสามารถสรุปได้ดังแสดงในรูปที่ 5

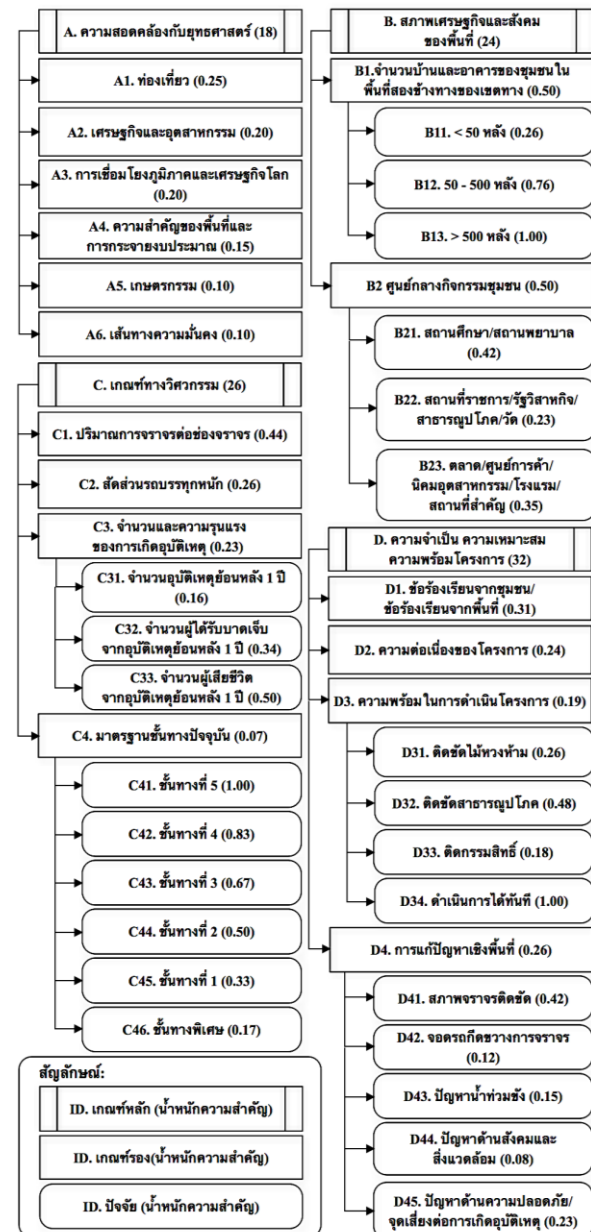


รูปที่ 5 แนวทางการจัดสรรงบประมาณ

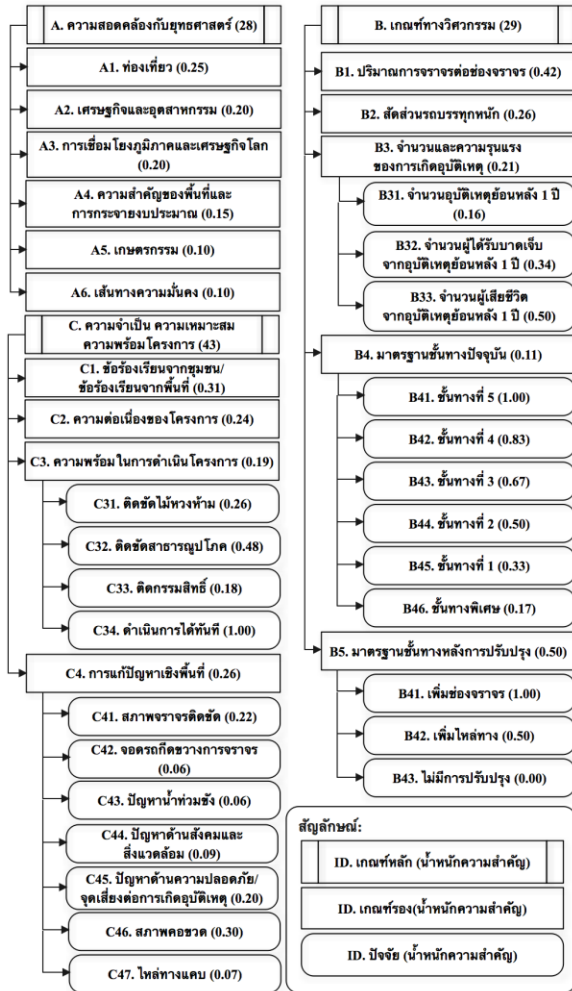
3. ผลการศึกษา

3.1. เกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจและน้ำหนักความสำคัญ

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ยุทธศาสตร์ระดับประเทศและยุทธศาสตร์ท้องถิ่นและประชุมหารือกับผู้เชี่ยวชาญของกรมทางหลวง รวมทั้งวิเคราะห์ผลการให้น้ำหนักความสำคัญจากผู้เชี่ยวชาญของกรมทางหลวงจนได้เกณฑ์/ปัจจัยตัดสินใจและน้ำหนักความสำคัญดังแสดงในรูปที่ 6-8



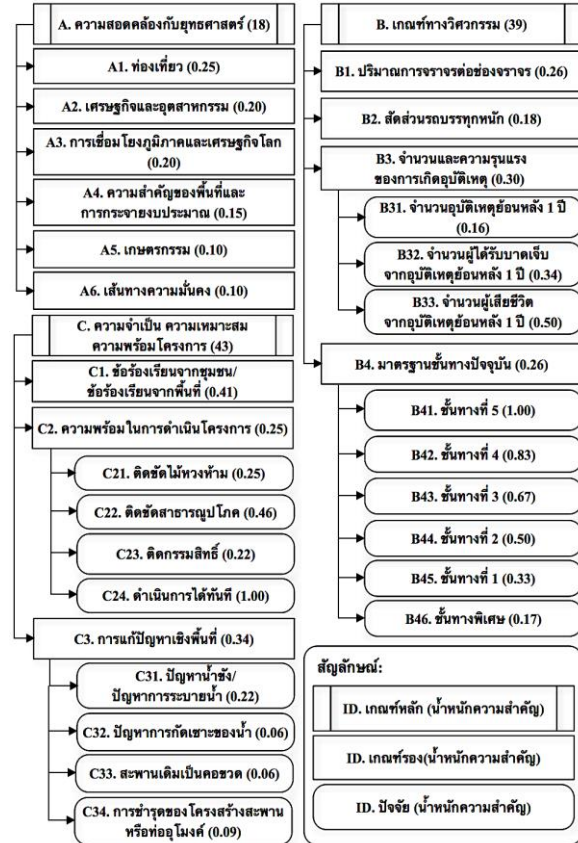
รูปที่ 6 เกณฑ์และน้ำหนักความสำคัญกิจกรรมประเภทที่ 1



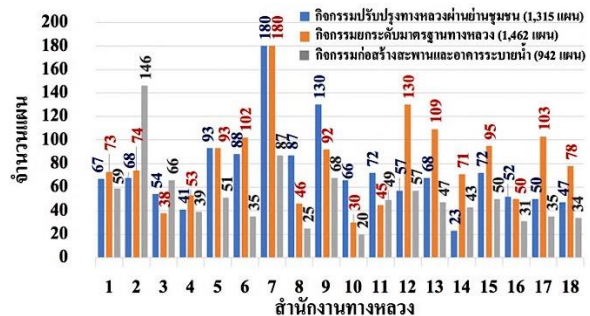
รูปที่ 7 เกณฑ์และน้ำหนักความสำคัญกิจกรรมประเภทที่ 2

3.2.ผลการรวบรวมข้อมูลปัญหาและแผนงานโครงการย่อย

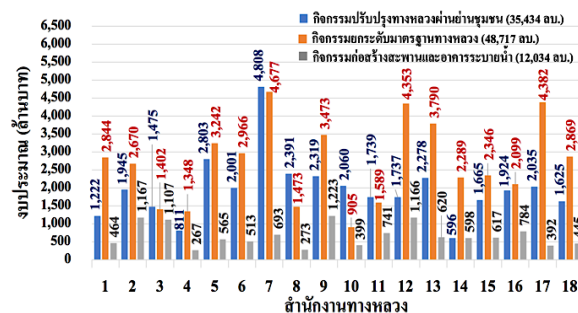
จำนวนแผนงานโครงการย่อยที่ได้รับจาก 18 สำนักงานทางหลวงมีจำนวน 3,719 แผน คิดเป็นแผนงบประมาณรวม 96,185 ล้านบาท แบ่งออกเป็นกิจกรรมประเภทที่ 1 (กิจกรรมปรับปรุงทางหลวงผ่านย่านชุมชน) จำนวน 1,315 แผน คิดเป็นแผนงบประมาณรวม 35,434 ล้านบาท กิจกรรมประเภทที่ 2 (กิจกรรมยกระดับมาตรฐานและเพิ่มประสิทธิภาพทางหลวง) จำนวน 1,462 แผน คิดเป็นแผนงบประมาณรวม 48,717 ล้านบาท และกิจกรรมประเภทที่ 3 (กิจกรรมก่อสร้างปรับปรุงสะพานและอาคารระบายน้ำจำนวน 942 แผน คิดเป็นแผนงบประมาณรวม 12,034 ล้านบาท ดังแสดงใน **รูปที่ 9,10**



รูปที่ 8 เกณฑ์และน้ำหนักความสำคัญกิจกรรมประเภทที่ 3



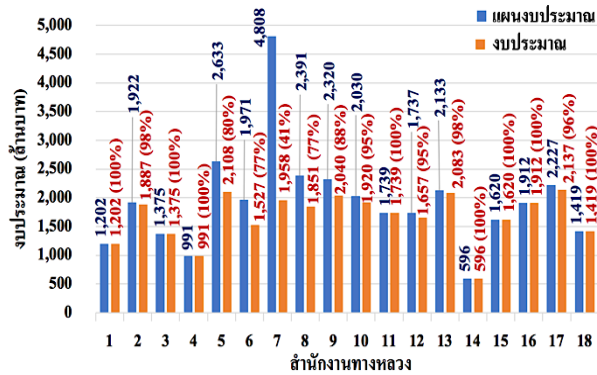
รูปที่ 9 จำนวนแผนงานจากแต่ละสำนักงานทางหลวง



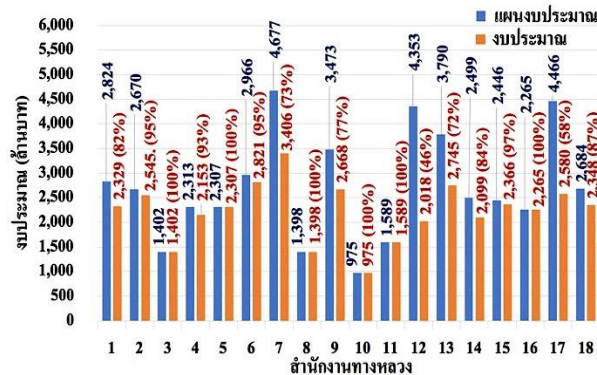
รูปที่ 10 แผนงบประมาณจากแต่ละสำนักงานทางหลวง

3.3.ผลการจัดทำแผนงานโครงการย่อยระยะ 10 ปี

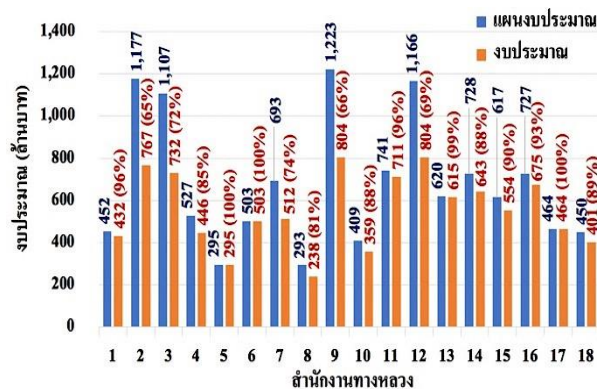
ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และคำนวณตามแนวทางที่เสนอโดยเรียงลำดับแผนงานที่ได้คะแนนมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด และแบ่งงบประมาณทั้งหมดของ 3 กิจกรรม ในแต่ละปีจำนวนเท่า ๆ กัน โดยอ้างอิงสถิติงบประมาณที่ได้รับของแต่ละกิจกรรมแสดงในรูปที่ 11-16



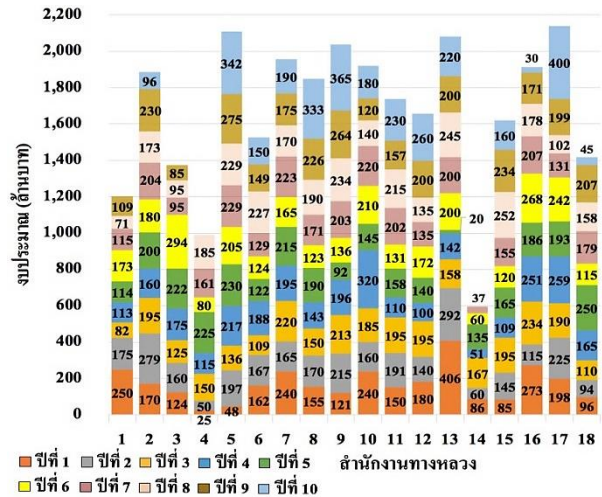
รูปที่ 11 แผนงบประมาณ/งบประมาณกิจกรรมประเภทที่ 1



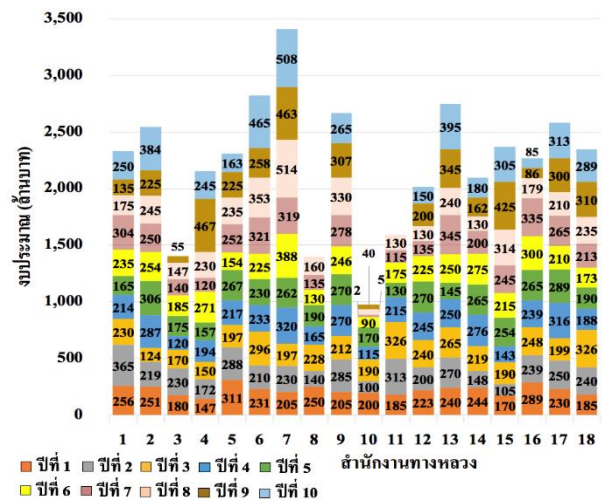
รูปที่ 12 แผนงบประมาณ/งบประมาณกิจกรรมประเภทที่ 2



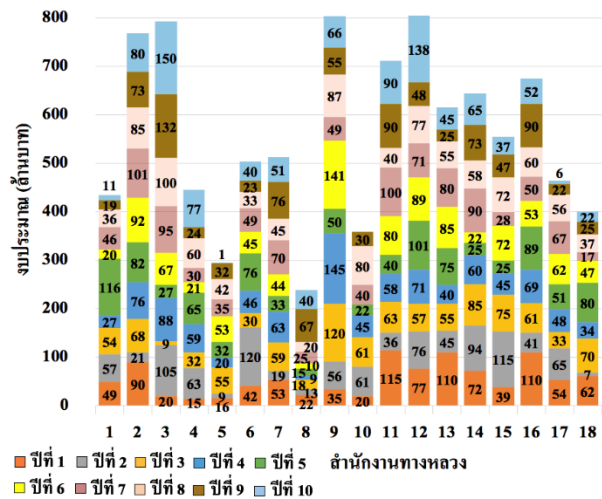
รูปที่ 13 แผนงบประมาณ/งบประมาณกิจกรรมประเภทที่ 3



รูปที่ 14 งบประมาณปีที่ 1-10 ของกิจกรรมประเภทที่ 1



รูปที่ 15 งบประมาณปีที่ 1-10 ของกิจกรรมประเภทที่ 2

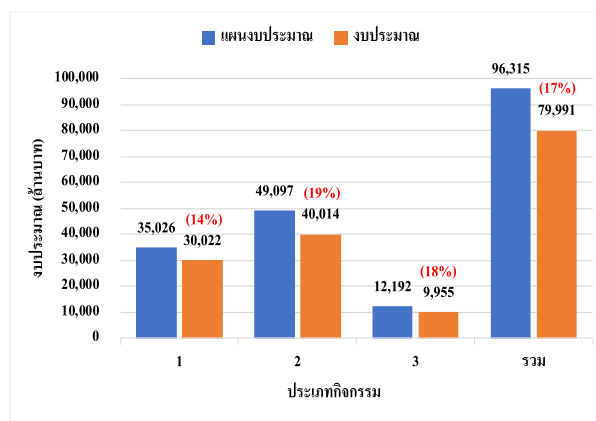


รูปที่ 16 งบประมาณปีที่ 1-10 ของกิจกรรมประเภทที่ 3

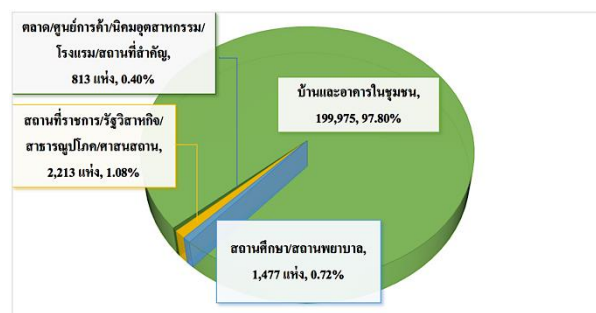
ผลประโยชน์จากการจัดลำดับความสำคัญโครงการส่งผลให้การใช้งบประมาณเกิดประโยชน์สูงสุดมากขึ้น โดยพบว่าสามารถประหยัดงบประมาณแผ่นดินได้มากถึง 16,324 ล้านบาท (ระยะ 10 ปี) หรือเฉลี่ยประหยัดได้ปีละ 1,632 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 17% (จากแผนงบประมาณที่ถูกเสนอรวมทั้งสิ้น 96,315 ล้านบาท มีผลการวิเคราะห์งบประมาณที่จะถูกจัดสรรลดลงเหลือเพียง 79,991 ล้านบาท) ดังแสดงในรูปที่ 17 ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมระดับท้องถิ่นและการตอบโจทยยุทธศาสตร์ประเทศดังต่อไปนี้

กิจกรรมปรับปรุงทางหลวงผ่านย่านชุมชนจะต้องใช้งบประมาณเฉลี่ยปีละ 3 พันล้านบาท จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประชาชนจำนวน 199,975 คนเรือน สถานศึกษา/สถานพยาบาลจำนวน 1,477 แห่ง สถานที่ราชการ/รัฐวิสาหกิจ/สาธารณูปโภค/ศาสนสถานจำนวน 2,213 แห่ง และตลาด/ศูนย์การค้า/นิคมอุตสาหกรรม/โรงแรม/สถานที่สำคัญจำนวน 813 แห่ง นอกจากนั้นยังช่วยในการพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวจำนวน 307 แผนงาน เส้นทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมจำนวน 35 แผนงาน เส้นทางด้านการเชื่อมโยงภูมิภาคและเศรษฐกิจโลกจำนวน 10 แผนงาน เส้นทางส่งเสริมด้านเกษตรกรรมจำนวน 284 แผนงาน เส้นทางด้านความมั่นคงจำนวน 108 แผนงาน และช่วยในการแก้ไขตามข้อร้องเรียนของประชาชนจำนวน 2,021 เรื่อง ดังแสดงในรูปที่ 18 กิจกรรมยกระดับมาตรฐานและเพิ่มประสิทธิภาพทางหลวงจะต้องใช้งบประมาณเฉลี่ยปีละ 4 พันล้านบาท จะช่วยในการพัฒนาเส้นทางท่องเที่ยวจำนวน 327 แผนงาน เส้นทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมจำนวน 39 แผนงาน เส้นทางด้านการเชื่อมโยงภูมิภาคและเศรษฐกิจโลกจำนวน 10 แผนงาน เส้นทางส่งเสริมด้านเกษตรกรรมจำนวน 909 แผนงาน เส้นทางด้านความมั่นคงจำนวน 186 แผนงาน และช่วยในการแก้ไขตามข้อร้องเรียนของประชาชนจำนวน 2,613 เรื่อง ดังแสดงในรูปที่ 19 กิจกรรมก่อสร้าง ปรับปรุง สะพานและอาคารระบายน้ำจะต้องใช้งบประมาณเฉลี่ยปีละ 1,000 ล้านบาท จะช่วยในการพัฒนา

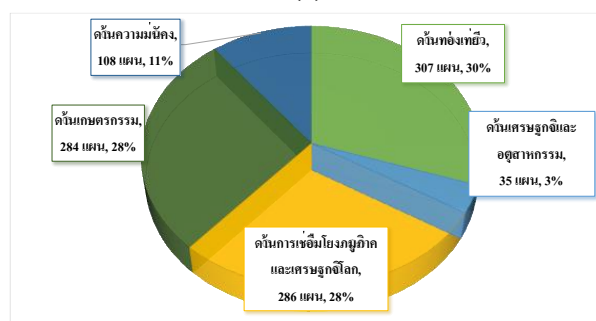
เส้นทางท่องเที่ยวจำนวน 72 แผนงาน เส้นทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมจำนวน 10 แผนงาน เส้นทางด้านการเชื่อมโยงภูมิภาคและเศรษฐกิจโลกจำนวน 1 แผนงาน เส้นทางส่งเสริมด้านเกษตรกรรมจำนวน 266 แผนงาน เส้นทางด้านความมั่นคงจำนวน 50 แผนงาน และช่วยในการแก้ไขตามข้อร้องเรียนของประชาชนจำนวน 846 เรื่อง ดังแสดงในรูปที่ 20



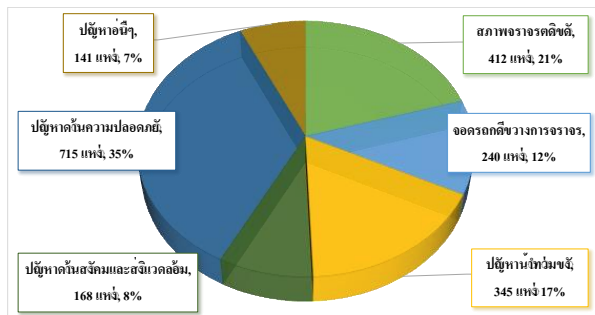
รูปที่ 17 แผนงบประมาณและงบประมาณระยะ 10 ปี



(ก)

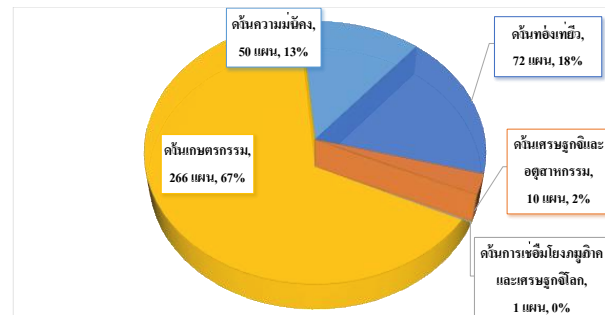


(ข)

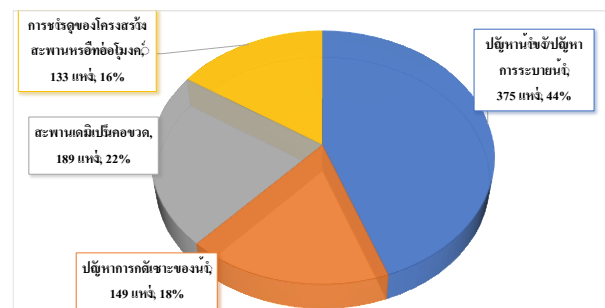


(ค)

รูปที่ 18 ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากกิจกรรมประเภทที่ 1 จากการจัดสรรงบประมาณระยะ 10 ปี (30,022 ล้านบาท)
(ก)ประโยชน์ต่อการพัฒนาชุมชนในพื้นที่ (ข)การส่งเสริมยุทธศาสตร์ท้องถิ่นและประเทศ (ค)ปัญหาที่ได้รับการแก้ไข

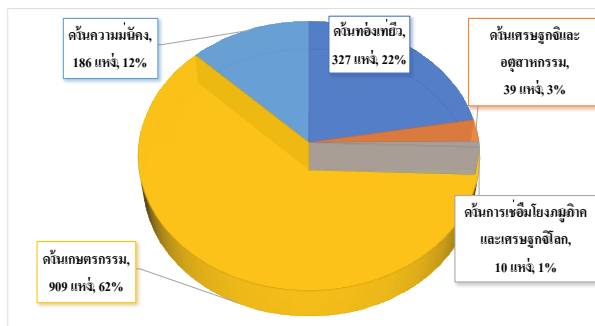


(ก)

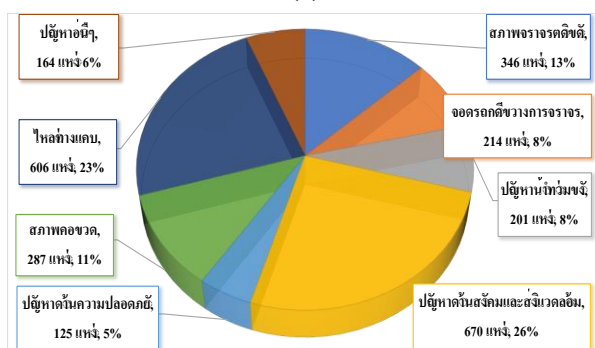


(ข)

รูปที่ 20 ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากกิจกรรมประเภทที่ 3 จากการจัดสรรงบประมาณระยะ 10 ปี (79,991 ล้านบาท)
(ก)การส่งเสริมยุทธศาสตร์ท้องถิ่นและประเทศ (ข)ปัญหาที่ได้รับการแก้ไข



(ก)



(ข)

รูปที่ 19 ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากกิจกรรมประเภทที่ 2 จากการจัดสรรงบประมาณระยะ 10 ปี (40,041 ล้านบาท)
(ก) การส่งเสริมยุทธศาสตร์ท้องถิ่นและประเทศ (ข)ปัญหาที่ได้รับการแก้ไข

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ประยุกต์การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์สำหรับพัฒนาแนวทางการจัดลำดับความสำคัญของโครงการย่อยของกรมทางหลวงตามลำดับความเร่งด่วนและปรับปรุงทางหลวงทั่วประเทศให้เป็นไปตามลำดับความสำคัญเพื่อวิเคราะห์แผนงานโครงการย่อยระยะ 10 ปี ผลการวิจัยสามารถจัดสรรงบประมาณที่มีอยู่จำกัดเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นไปอย่างมีระเบียบแบบแผนในทิศทางเดียวกัน เกิดความชัดเจนถึงความจำเป็นในการใช้งบประมาณในแต่ละกิจกรรมบนพื้นฐานของข้อมูลและเหตุผลที่ถูกต้องและครบถ้วน โดยวิธีที่นำเสนอสามารถทำให้ประหยัดงบประมาณแผ่นดินได้สูง ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมระดับท้องถิ่นและการตอบโจทย์ยุทธศาสตร์ประเทศ

การศึกษาวิจัยในอนาคตในส่วนของการวิเคราะห์คัดเลือกรโครงการย่อย นอกจากการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์แล้ว สามารถพิจารณาจัดลำดับโครงการย่อยด้วยวิธีการประเมินรูปแบบอื่น ๆ เช่น อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อมูลค่าการลงทุน (Benefit/Cost Ratio) ของแต่ละโครงการที่มีการพิจารณาทั้งผลประโยชน์ทางตรง (Direct Benefit) และผลประโยชน์ทางอ้อม (Indirect Benefit) ทั้งด้านจราจร อุบัติเหตุ มลพิษ และอื่น ๆ ซึ่งอาจส่งผลให้ช่วยประหยัดงบประมาณได้มากยิ่งขึ้นและทำให้ได้โครงการที่มีประสิทธิภาพสูงในลำดับต้น ๆ นอกจากนี้ควรมีการให้ความสำคัญกับโครงการที่จะส่งผลต่อการลดปริมาณจราจร ลดอุบัติเหตุ และลดมลพิษ ในการพิจารณาสนับสนุนงบประมาณโครงการ เช่น การปรับปรุงทางเดินเท้า/ทางจักรยานแทนการขยายถนนในเขตชุมชนเมือง ซึ่งจะเป็นแนวทางการพัฒนาอย่างยั่งยืนในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญของกรมทางหลวงที่ให้ข้อมูลในการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ตัดสินใจ และบุคลากรของหมวดทางหลวง แขวงทางหลวง และสำนักงานทางหลวงทั่วประเทศที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสำรวจ บันทึก และตรวจสอบข้อมูลภาคสนามและเสนอแผนงานโครงการย่อยทั้ง 3 กิจกรรม รวมทั้งให้ข้อเสนอแนะที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ อย่างดีเสมอมา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Mardle, S. Pascoe and I. Herrero, "Management objective importance in fisheries: An evaluation using the analytic hierarchy process (AHP)," *Environmental Management*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, Feb., 2004, doi: 10.1007/s00267-003-3070-y.
- [2] K. Nosal and K. Solecka, "Application of AHP method for multi- criteria evaluation of variants of the integration of urban public transport," *Transportation Research Procedia*, vol. 3, pp. 269–278, 2014, doi: 10.1016/j.trpro.2014.10.006.
- [3] S. Erna, A. Subandiyah and I. Tiong, "Priority Scale Analysis Using Analytical Hierarchy Process (AHP) to Determine Traditional Market Development in Tulungagung District," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 2, no. 9, pp. 31–37, 2018.
- [4] T. Arundon and O. Wang-a-pisit, "The prioritization on road investment projects in Songkhla," *UBU Engineering Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 115–128, 2020.
- [5] A. Rakan and L. Suzanna, "The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Sustainable Project Selection," *Sustainability*, vol. 12, no. 20, pp. 1–16, 2020, doi: 10.3390/su12208314 .
- [6] V. Juliana, C. Ricardo, Y. Akebo and V. Wesley, "Using the Fuzzy Sets Theory in the Multimodal Transport Network Problem," in *Proc. IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS)*, Edmonton, AB, Canada, Jun. 24–28, 2013, doi: 10.1109/IFSA-NAFIPS.2013.6608503.
- [7] A. Erel, P. Joseph and C. Avishai , "Transportation projects selection process using fuzzy sets theory," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 116, no. 1, pp. 35–47, 2000, doi: 10.1016/S0165-0114(99)00036-6.
- [8] P. Luis, A. Sara- Nohemí, R. Roberto, P. Iván Juan Carlos , L. David and H. Jesús Andrés, "Assessment Urban Transport Service and Pythagorean Fuzzy Sets CODAS Method: A Case of Study of Ciudad Juárez," *Sustainability*, vol. 13, no. 3, pp. 1–18, 2021, doi: 10.3390/su13031281.
- [9] A. Adesanya, "Decision- making for sustainable transport and mobility: Multi actor multi criteria

- analysis,” *The Social Science Journal*, vol.58, no. 2, pp. 268–269, 2020, doi: 10.1080/03623319.2020.1795520.
- [10] H. Purboyo, P. Pradono and H. Titus, “Development of Multi- Actor Multi- Criteria Analysis Based on the Weight of Stakeholder Involvement in the Assessment of Natural-Cultural Tourism Area Transportation Policies,” *Algorithms*, vol. 14, no. 7, pp. 1–22, 2021, doi: 10.3390/a14070217.
- [11] L. Maria, B. Geert, M. Cathy and C. Thierry, “Application of Multi-Actor Multi-Criteria Analysis for Transition Management in Energy Communities,” *Sustainability*, vol. 13, no. 4, pp. 1–18, 2021, doi: 10.3390/su13041783.
- [12] H. Tezcan UYSAL and Y. Kemal , “Selection of Logistics Centre Location via ELECTRE Method: A Case Study in Turkey,” *International Journal of Business and Social Science*, vol. 5, no. 9, pp.276–289, 2014.
- [13] F. Mohamed and M. Soha, “A New ELECTRE- II Approach Using Separation Method And Grey Subjective- Objective Weights' Allocation Scheme,” *International Journal of Scientific & Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 3251–3257, 2020.
- [14] J. Praveena and M. Devi, “Electre Method in Selection of a Seventh Party Logistics Provider (7pl) ,” *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 9, no.4, pp.173–176, 2020, doi: 10.35940/ijeat.C6518.049420.
- [15] A. Hakan, “Sector Analysis of Turkish Markets using the PROMETHEE Method,” *Journal of Business, Economics and Finance*, vol. 9, no. 3, pp.196-208, 2020, doi 10.17261/PRESSACADEMIA.2020.1296.
- [16] M. Maria and P. Jason, “Use of PROMETHEE MCDA Method for Ranking Alternative Measures of Sustainable Urban Mobility Planning,” *Mathematics*, vol. 9, no. 6, pp.1–15, 2021, doi: 10.3390/math9060602.
- [17] O. Laila and D. Szabolcs, “Review of PROMETHEE method in transportation,” *Production Engineering Archives*, vol. 27, no. 1, pp. 69–74, 2021, doi: 10.30657/pea.2021.27.9.
- [18] I. Linkov, F. Satterstrom, G. Kiker, T. Seager, T. Bridges, K. Gardner, S. Rogers, D. Belluck and A. Meyer, “Multicriteria Decision Analysis: A Comprehensive Decision Approach for Management of Contaminated Sediments,” *Risk Analysis*, vol. 26, no. 1, pp. 61–78, 2006, doi: 10.1111/j.1539-6924.2006.00713.x.
- [19] J. Jia, G. Fischer and J. Dyer, “Attribute Weighting Methods and Decision Quality in the Presence of Response Error: A Simulation Study,” *Journal of Behavioral Decision Making*, vol.11, no. 2, pp. 85–105, 1998, doi: 10.1002/(SICI)1099-0771(199806)11:2<85::AID-BDM282>3.0.CO;2-K.
- [20] M. K. William, “Likert Scaling,” in *Research Methods Knowledge Base*, 2nd Edition, Cincinnati, Ohio, United States of America: A.D.P., 2006, ch. 4, sec. 5, pp. 163-165 .
- [21] M. Shanmuganathan, K. Kajendran, A. Sasikumar and M. Mahendran, “Multi Attribute Utility Theory- An Over View,” *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 9, no. 3, pp.698–706, 2018.
- [22] *Freight Transport Bureau, Department of Land Transport*, “Truck Data Service Center,” Freight Transport Bureau, Department of Land Transport, Jul. 2021 [Online]. Available: <https://www.thaitruckcenter.com/tdsc/>

อิทธิพลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลต่อสมรรถนะและคุณลักษณะการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลเล็กขณะสตาร์ทเครื่องยนต์

Effect of Biodiesel-ethanol Fuel Blends on Performance and Combustion Characteristics in a Small Diesel Engine during Start of Engine

กิตติ เอี่ยมเปรมจิต*

วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ป่าป๋อง ดอยสะเก็ด เชียงใหม่ 50220

Kitti Iempremjit*

College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Papong, Doi Saket, Chiangmai

*Corresponding Author E-mail: kitthi@hotmail.com

Received: Jul 08, 2021; Revised: Aug 31, 2021; Accepted: Sep 08, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเพื่อประเมินผลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะและลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก การทดสอบดำเนินการในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดี่ยวแบบฉีดตรง (Direct Injection, DI) เชื้อเพลิงทดสอบเป็นไบโอดีเซลผสมเอทานอล โดยมีสัดส่วนของเอทานอลตั้งแต่ 60 ถึง 82% โดยน้ำหนัก (B40E60 ถึง B18E82) การทดสอบกระทำระหว่างการสตาร์ทเครื่องยนต์โดยไม่มีภาระเครื่องยนต์ (No Engine Load) ที่ตำแหน่งคันเร่งเชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Fuel Rack) ผลการทดลองพบว่าไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์โดยใช้เชื้อเพลิงผสมที่มีสัดส่วนของเอทานอลสูงกว่า 82% ผลจากการวิเคราะห์การเผาไหม้พบว่าตำแหน่งการเริ่มฉีดเชื้อเพลิง (Start Of Injection, SOI) และตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start Of Combustion, SOC) มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอล สัดส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้นจะเพิ่มความล่าช้าในการจุดระเบิด (Ignition Delay, ID) และทำให้จำนวนวัฏจักรที่ไม่เกิดการเผาไหม้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: การเผาไหม้, เอทานอล, ไบโอดีเซล, เครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

In this work, an experimental investigation was conducted to evaluate the effects of using biodiesel-ethanol blends on the engine performance and combustion characteristics of a small diesel engine. The tests were conducted on a single cylinder DI diesel engine, which is operated with biodiesel-ethanol fuel blends containing 60 to 82% (w/w) ethanol (B40E60 to B18E82). The tests were conducted with no engine load at maximum fuel rack during starting the engine. It was found that the engine cannot be started with the combination of biodiesel and more than 82% ethanol. The combustion analysis results show that there is less variation in the start of injection (SOI) and start of combustion (SOC) when the ethanol concentration is increased. Increasing the ethanol content increased the ignition delay (ID) and the number of misfire cycles.

Keywords: Combustion, Ethanol, Biodiesel, CI engine

1. บทนำ

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก การใช้เชื้อเพลิงทดแทนเป็นวิธีการลดก๊าซเรือนกระจกวิธีหนึ่ง เอทานอลนับเป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่สามารถผลิตได้จากผลผลิตทางการเกษตร ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีศักยภาพสามารถใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยเฉพาะเชื้อเพลิงเอทานอล กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์พัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชเหล่านี้ เพื่อเป็นตลาดทางเลือกสำหรับผลิตผลการเกษตรไทย ซึ่งสามารถช่วยลดชั้นผลผลิตทางการเกษตร ทำให้ราคาผลผลิตการเกษตรมีเสถียรภาพ

โดยทั่วไปเอทานอลจะใช้เป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน เนื่องจากเอทานอลมีค่าออกเทนสูง [1] ในหลายประเทศ เช่น บราซิล สวีเดนและไทย มีการใช้เอทานอลอย่างกว้างขวาง ก่อให้เกิดโอกาสอันดีสำหรับการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซล เอทานอลผลิตจากวัตถุดิบต่างๆ เช่น อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง เป็นต้น ถึงแม้เอทานอลจะใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนสำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนเป็นหลัก แต่ก็มีศักยภาพในการใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซล ในช่วงทศวรรษ 1980 การผสมเอทานอลกับเชื้อเพลิงดีเซลเป็นหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจ และส่วนผสมของเอทานอล-ดีเซลนี้เรียกว่า ดีโซฮอล (Diesohol) ซึ่งสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ [2] เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่น่าสนใจแต่ไม่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงเดี่ยวในเครื่องยนต์ดีเซลได้เนื่องจากมีค่าซีเทนต่ำมาก จึงต้องผสมกับเชื้อเพลิงดีเซลหรือไบโอดีเซล [3]

ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนอีกชนิดหนึ่ง ผลิตจากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ เช่น ปาล์ม สนุ่นดำ และน้ำมันทอดอาหารที่ใช้งานแล้ว นำมาผ่านกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่า กระบวนการทรานส์เอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification Process) โดยให้น้ำมันพืชทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จนเกิดเป็นสารเอสเตอร์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

ไบโอดีเซลสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดีเซลแบบเชื้อเพลิงเดี่ยวหรือแบบส่วนผสมของดีเซล-ไบโอดีเซล ซึ่งต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์เพียงเล็กน้อย กำลังและแรงบิดของเครื่องยนต์มีแนวโน้มลดลงเมื่อใช้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากไบโอดีเซลมีค่าความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล อัตราการใช้เชื้อเพลิงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อใช้ไบโอดีเซล ไบโอดีเซลส่งผลให้มลพิษทางอากาศลดลงมากเนื่องจากโมเลกุลของไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของออกซิเจนสูง ยกเว้นมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย การปรับแต่งเครื่องยนต์ที่เหมาะสมสามารถลดปัญหานี้ได้ [4]

การศึกษการเพิ่มอัตราส่วนเอทานอลลงในส่วนผสมของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซล การศึกษานี้ไบโอดีเซลถูกกำหนดไว้ที่ 50% และอัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 20% พบว่า D35E15B50 ซึ่งมีเอทานอล 15% มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้น 21.17% และการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลง 4.61% ที่ภาระสูงสุด มลพิษ ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้และคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง แต่ไนโตรเจนออกไซด์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย [5]

การศึกษามลพิษไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล 2 สูบ 4 จังหวะ แบบฉีดเชื้อเพลิงตรง ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล 85% เมทานอล 15% (B85M15) และเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 85% เอทานอล 15% (B85E15) เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลมาตรฐาน พบว่าส่วนผสมของไบโอดีเซล-แอลกอฮอล์ เมื่อเทียบกับดีเซลจะลดการปล่อยมลพิษไนโตรเจนออกไซด์ ในขณะที่เพิ่มการปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนที่ภาระเครื่องยนต์ต่ำกว่า 70% นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมของไบโอดีเซล-เอทานอลมีประสิทธิภาพมากกว่าไบโอดีเซล-เมทานอลในการลดการปล่อยมลพิษและประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องยนต์ [6]

การศึกษผลกระทบของเอทานอลที่ใช้เป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซล ต่อการปล่อยมลพิษไอเสียของรถยนต์โดยสาร โดยใช้ส่วนผสมของเชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองที่มีความเข้มข้น 3% (B3), 5% (B5), 10% (B10) และ 20% (B20) เป็นเชื้อเพลิง พบว่า

การเพิ่มความเข้มข้นของไบโอดีเซลในส่วนผสมของเชื้อเพลิง จะเพิ่มการปล่อยมลพิษคาร์บอน ไดออกไซด์และไนโตรเจนออกไซด์ ในขณะที่การปล่อยมลพิษคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอนและฝุ่นละออง (Particulate Matter, PM) จะลดลง การเพิ่มเอทานอลลงในส่วนผสมเชื้อเพลิงสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการควบคุมมลพิษในโตรเจนออกไซด์ได้ [7]

การศึกษาเพื่อตรวจสอบผลของการใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งสำหรับส่วนผสมไบโอดีเซล-ดีเซล ที่มีต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์ การปล่อยมลพิษและลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ ทดสอบด้วยเชื้อเพลิงผสมสองชนิดคือ ไบโอดีเซล 20% ดีเซล 80% (B20) และไบโอดีเซล 20% เอทานอล 5% ดีเซล 75% (B20E5) เปรียบเทียบกับดีเชื้อเพลิงดีเซล พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงขึ้นและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงเมื่อใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลและเอทานอล การปล่อยมลพิษในโตรเจนออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล [8]

การศึกษาเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และเอทานอลผสมไบโอดีเซล (BE) ได้รับการทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 4 สูบ ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงขึ้นเล็กน้อยด้วยเอทานอล 5% ในไบโอดีเซล (BE5) เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล ไบโอดีเซล และ BE มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกสูงกว่า โดยรวมแล้ว เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล การผสม BE สามารถลดทั้งมลพิษในโตรเจนออกไซด์ และการปล่อยอนุภาค (Particulate) ของเครื่องยนต์ดีเซล ประสิทธิภาพของการลดไนโตรเจนออกไซด์และอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเอทานอล [9]

การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อส่งเสริมการปริมาณการใช้เอทานอลที่ผลิตได้ภายในประเทศ การนำเอทานอลมาผสมกับไบโอดีเซลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลเป็นวิธีที่น่าสนใจเนื่องจากประเทศไทยสามารถผลิตได้ทั้งเอทานอลและไบโอดีเซล จากงานวิจัยที่ผ่านมา การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลมักเป็นการใช้เอทานอลในสัดส่วนน้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาวิธีการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลในสัดส่วนที่สูงขึ้น และ

ทำการทดลองเพื่อประเมินผลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะและลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก การทดสอบดำเนินการในเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียวแบบฉีดตรง เชื้อเพลิงทดสอบเป็นไบโอดีเซลผสมเอทานอล โดยมีสัดส่วนของเอทานอลตั้งแต่ 60 ถึง 82% โดยน้ำหนัก (B40E60 ถึง B18E82) การทดสอบกระทำระหว่างการสตาร์ทเครื่องยนต์โดยไม่มีการะเครื่องยนต์ (No Engine Load) ที่ตำแหน่งคันเร่งเชื้อเพลิงสูงสุด (Maximum Fuel Rack)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start Of Combustion, SOC) ถูกระบุด้วยจุดที่มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนมากกว่า $5\text{ J/}^{\circ}\text{CA}$ ตำแหน่งสิ้นสุดการเผาไหม้ (End of Combustion, EOC) ถูกระบุด้วยจุดที่มีอัตราการปลดปล่อยความร้อนน้อยกว่า $2\text{ J/}^{\circ}\text{CA}$ ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด (Ignition Delay, ID) กำหนดด้วยความแตกต่างของตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้กับตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (SOC-SOI)

การศึกษาคูณลักษณะการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก ด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลความดันภายในกระบอกสูบขณะเกิดการเผาไหม้ การทดลองนี้ใช้ไบโอดีเซล (Palm Methyl Ester) ผสมกับเอทานอล โดยมีสัดส่วนเอทานอล 60–82 % (B40E60, B35E65, B30E70, B28E72, B26E74, B24E76, B22E78, B20E80, B18E82) และวิเคราะห์การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในแต่ละอัตราส่วน นำไปเปรียบเทียบกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีเซล คุณสมบัติของเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 1

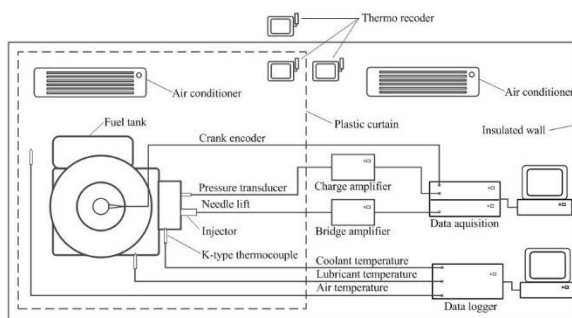
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง

Properties	Ethanol	Bio-diesel	Diesel
Viscosity (cP) @20°C	1.19	4.22	4.35
Density (g/cc)	0.785	0.859	0.832
LHV (MJ/kg)	26.80	39.90	42.6
Cetane number	5.0	55	55
Flash point (°C)	13.5	188.5	60

การทดลองใช้เอทานอลความเข้มข้น 95% มีน้ำเจือปนประมาณ 5% ก่อนนำเอทานอลมาผสมกับไบโอดีเซลจะเติม lauric acid ลงในเอทานอล 1% เพื่อใช้เป็นสารหล่อลื่นแก่ปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูง [10] หลังจากนั้นนำเอทานอลผสมกับไบโอดีเซลในสัดส่วนที่ต้องการ เช่น ไบโอดีเซล 18% ผสมกับเอทานอล 82% จะเรียกว่า B18E82

การทดลองนี้ได้นำตัวอย่างเชื้อเพลิงผสมเก็บไว้ในบริเวณที่ไม่มีแรงสั่นสะเทือน ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 เดือน การตรวจสอบด้วยสายตาไม่พบการแยกชั้นของเชื้อเพลิงและเชื้อเพลิงไม่มีการเปลี่ยนสี นอกจากนี้มีงานวิจัยสรุปว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20°C ไบโอดีเซลและเอทานอลทุกอัตราส่วนสามารถผสมเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ปรากฏการแยกชั้นของเชื้อเพลิง [11]

รูปที่ 1 แสดงแผนภาพของการทดลอง การทดลองใช้เครื่องยนต์ดีเซลเล็กสูบเดียว รุ่น Kubota RT140 (บริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด นิคมอุตสาหกรรมนวนคร ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี) ระบบการทำงานแบบ DI ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดกระบอกสูบและช่วงชัก 97×96 มม. ปั๊มเชื้อเพลิงแรงดันสูงแบบ port and helix หัวฉีดเชื้อเพลิงแบบ 4 รู เครื่องยนต์ถูกดัดแปลงให้มีอัตราส่วนการอัดสูงขึ้นเป็น 23:1 โดยวิธีการลดปริมาตรห้องเผาไหม้บนหัวลูกสูบ



รูปที่ 1 แผนภาพการทดลอง

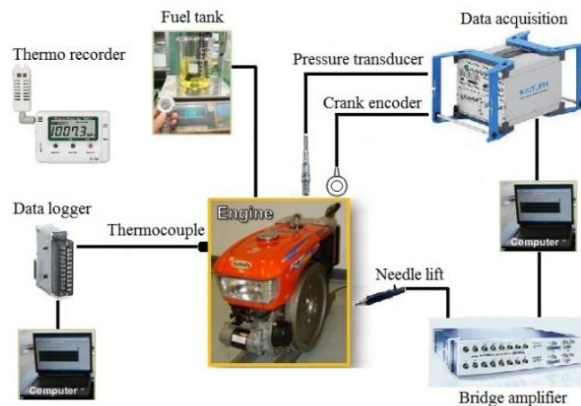
การทดลองดำเนินการภายในห้องควบคุมอุณหภูมิซึ่งได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยม่านพลาสติก ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิทั้งสองส่วนติดตั้งเครื่องปรับอากาศและควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิควบคุมขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ทดลองดูด

อากาศจากภายในห้องเข้าทางท่อไอเสียขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องยนต์ทดสอบ

Engine maker and model	Kubota RT140
Bore × Stroke (mm)	97×96
Displacement volume (cm ³)	709
Injection pressure (bar)	210
Max. power (kW)/rpm	10.3/2,400
Max. torque (kg-m)/rpm	5.0/1,600
Compression ratio	23:1 (Modified)

เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 3 ตัว ต่อเข้ากับ Data Logger Keyence Thermo NR-TH08 (บริษัท คีย์เอ็นซ์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารอิตัลไทยทาวเวอร์ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ) เพื่อบันทึกอุณหภูมิอากาศรอบเครื่องยนต์ น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่น เครื่องมือบันทึกอุณหภูมิอากาศ Thermo recorder TR-73U (บริษัท โอคูมูระ แอนด์ซิสเต็มส์ จำกัด โครงการเอชทูโอ แขวงคลองไม้ เขตประเวศ กรุงเทพฯ) ใช้สำหรับบันทึกอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความดันบรรยากาศจำนวน 3 จุด คือ ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิทั้งสองส่วน และภายนอกห้องควบคุมอุณหภูมิ อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่เข็มหัวฉีด Inductive needle Lift Transducer และอุปกรณ์แปลงสัญญาณ Bridge Amplifier AVL 3010A01 (AVL List GmbH, Hans-List-Platz, Graz, Austria) ใช้สำหรับวัดตำแหน่งการยกตัวของเข็มหัวฉีด อุปกรณ์วัดความดันในกระบอกสูบ Kistler, PiezoStar® type 6052C (บริษัท คิสท์เลอร์อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารไทยชีชีทาวเวอร์ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ) ใช้สำหรับวัดความดันภายในกระบอกสูบ ทั้งสองข้อมูลนี้จะถูกเก็บในเครื่องบันทึกข้อมูล KiBox type 2893AK8 (บริษัท คิสท์เลอร์อินสตรูเมนต์ (ไทยแลนด์) จำกัด อาคารไทยชีชีทาวเวอร์ แขวงยานนาวา เขตสาทร กรุงเทพฯ) อุปกรณ์ทดลองแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดลอง

เครื่องยนต์และถังบรรจุเชื้อเพลิงถูกแช่ในห้องควบคุมอุณหภูมิก่อนทำการทดลอง จนกระทั่งอุณหภูมิห้อง น้ำหล่อเย็นและน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์อยู่ในช่วง $25 \pm 1^\circ\text{C}$ อย่างน้อย 1 ชั่วโมง การสตาร์ทเครื่องยนต์ คำนวณความเร็วรอบของเครื่องยนต์ถูกตั้งไว้ที่ตำแหน่งสูงสุดทุกการทดลอง การสตาร์ทเครื่องยนต์ด้วยมอเตอร์สตาร์ทเป็นเวลาไม่เกิน 5 วินาทีเพียงครั้งเดียว เริ่มบันทึกข้อมูลทั้งหมดตั้งแต่เริ่มสตาร์ทเครื่องยนต์จนถึงวัฏจักรที่ 200 (0–200 cycles)

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

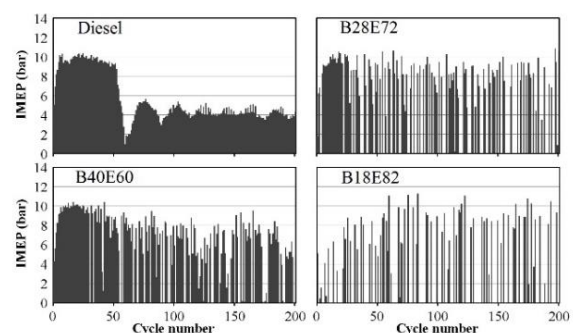
การทดสอบการสตาร์ทเครื่องยนต์ ด้วยการใช้อีทานอล ในสัดส่วน 60–80% ผสมกับไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดสอบในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก อัตราส่วนการอัดเดิม 18:1 ผลการทดสอบพบว่าเชื้อเพลิงผสมทุกอัตราส่วนไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ที่อุณหภูมิห้อง คาดว่าสาเหตุเกิดจากอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ในจังหวะอัดตัว (Compression Stroke) มีค่าไม่สูงพอที่จะทำให้เชื้อเพลิงอีทานอลเกิดการจุดระเบิดด้วยตัวเองได้ (Auto-Ignition) จึงได้เลือกวิธีแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มอัตราส่วนการอัดเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ให้สูงกว่าอุณหภูมิจุดระเบิดด้วยตัวเอง (Auto-Ignition Temperature) ของอีทานอลที่อุณหภูมิ 638K การคำนวณอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ตามสมการ (1)

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma \quad (1)$$

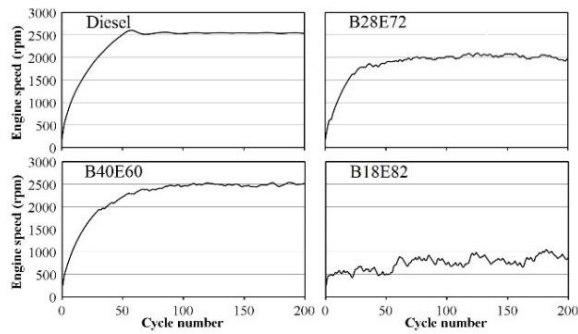
เมื่อกำหนดให้ $\gamma = 1.25$ [12] พบว่าต้องเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์เป็น 23:1 จึงจะแก้ปัญหาข้างต้นได้

การทดลองพบว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมที่มีอีทานอลในสัดส่วนสูงกว่า 82% ไม่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นเชื้อเพลิง B18E82 จึงเป็นเชื้อเพลิงที่มีอีทานอลในสัดส่วนสูงสุดที่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้

รูปที่ 3 แสดงความดันเฉลี่ยประสิทธิภาพ (Indicated Mean Effective Pressure, IMEP) ของเครื่องยนต์ใน 200 วัฏจักรแรก กรณีเชื้อเพลิงดีเซลมีค่า IMEP เฉลี่ยสูงกว่าและไม่พบ Misfire Cycle ตลอดทั้ง 200 วัฏจักร (IMEP ของวัฏจักรใดมีค่าเป็นศูนย์ เป็นตัวชี้วัดว่าเกิด Misfire Cycle ในวัฏจักรนั้น) ในช่วง 50 วัฏจักรแรก IMEP มีค่าสูงเนื่องจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่ำมาก ดังในรูปที่ 4 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (Governor) ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงจำนวนมากเพื่อเร่งความเร็วรอบเครื่องยนต์ ส่งผลให้ IMEP มีค่าสูง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงเกินไปหลังจากวัฏจักรที่ 50 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบจะปรับลดปริมาณเชื้อเพลิงลง จนกระทั่งความเร็วรอบเครื่องยนต์คงที่ กรณี B40E60 เป็นเชื้อเพลิงที่มีสัดส่วนอีทานอลต่ำ จะมีวัฏจักรที่เกิด Misfire ขึ้น เมื่อผสมอีทานอลในสัดส่วนที่สูงขึ้น จำนวนวัฏจักรที่เกิด Misfire จะมีมากขึ้นตามไปด้วย

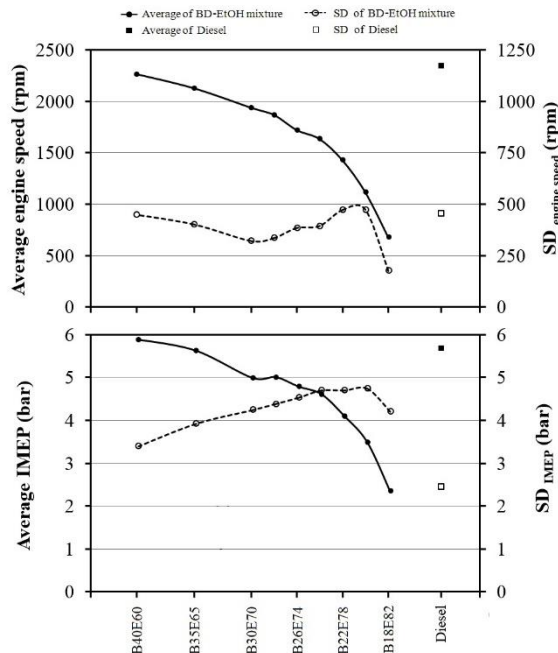


รูปที่ 3 การแปรเปลี่ยนความดันเฉลี่ยประสิทธิภาพ (IMEP) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น



รูปที่ 4 การแปรเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

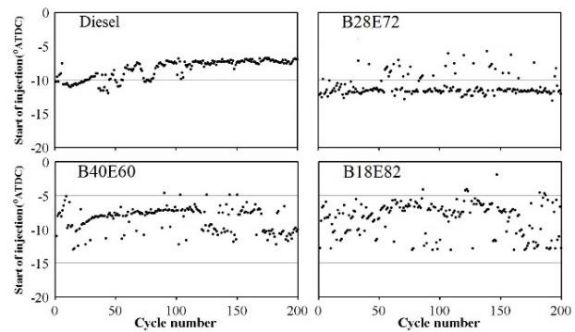
รูปที่ 5 แสดงความเร็วรอบเฉลี่ยและความดันเฉลี่ยประสิทธิผลในช่วง 200 วัฏจักรแรก เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลให้ความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยของเครื่องยนต์มีค่าลดลง กรณี B40E60 เครื่องยนต์มีความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงดีเซล ส่วนความแปรปรวน (Standard Deviation, SD) ทั้งของความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม



รูปที่ 5 ความเร็วรอบเฉลี่ยและ IMEP เฉลี่ยของเครื่องยนต์

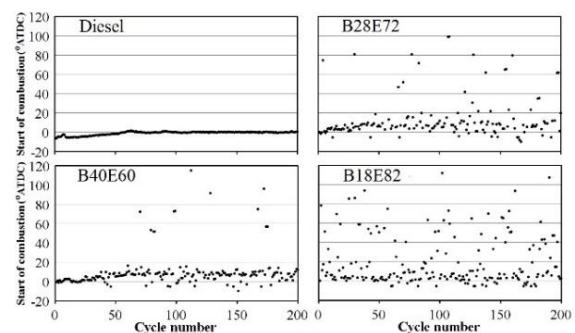
รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (start of injection, SOI) ช่วง 200 วัฏจักรแรก ตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงมีความแปรปรวนไม่มากนัก แต่มีความ

แปรปรวนสูงกว่ากรณีใช้เชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งส่งผลให้ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (Start Of Combustion, SOC) มีความแปรปรวนสูงขึ้นตามไปด้วยเมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม



รูปที่ 6 การแปรเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง (SOI) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 7 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ช่วง 200 วัฏจักรแรก กรณีเชื้อเพลิงดีเซล ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้เกิดขึ้นใกล้ตำแหน่งศูนย์ตายบน (TDC) และมีความแปรปรวนต่ำมาก กรณี B40E60 มีความแปรปรวนสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล แต่เมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลให้ความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้สูงขึ้น

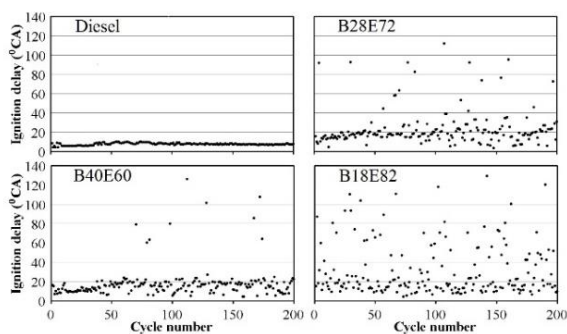


รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ (SOC) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 8 แสดงช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด (Ignition Delay, ID) ช่วง 200 วัฏจักรแรก กรณีเชื้อเพลิงดีเซล ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดมีความแปรปรวนต่ำมาก กรณี B40E60 มีความแปรปรวนสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล แต่เมื่อเพิ่ม

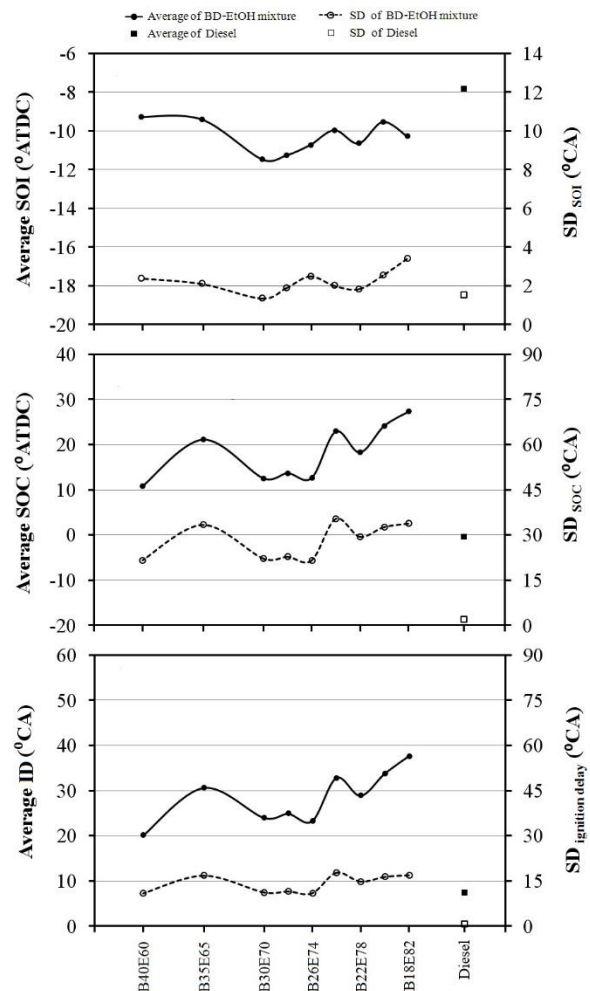
สัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ส่งผลให้ความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้สูงขึ้น

ผลการทดลองจากรูปที่ 6-8 แสดงให้เห็นว่าการใช้เชื้อเพลิง B40E60 ทำให้เครื่องยนต์มีความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้และช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดในระดับสูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล แต่การเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ทำให้ความแปรปรวนดังกล่าวสูงขึ้นมาก ส่งผลให้กำลังเครื่องยนต์ลดลง [13] การสาร์ทเครื่องยนต์จึงกระทำได้อย่างขึ้น



รูปที่ 8 การแปรเปลี่ยนช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด (ID) ของเครื่องยนต์กับจำนวนวัฏจักรในช่วงเริ่มต้น

รูปที่ 9 แสดงค่าเฉลี่ยของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้และ ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดตลอดช่วง 200 วัฏจักรแรก ตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงผสมทุกกรณีอยู่ในช่วง 9 ถึง 12°BTDC และไม่ขึ้นต่อสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม ความแปรปรวนของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เปรียบเทียบกับกรณีใช้เชื้อเพลิงดีเซล ซึ่งมีตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงอยู่ที่ 8°BTDC หมายความว่าเชื้อเพลิงผสมสามารถฉีดเข้าไปภายในห้องเผาไหม้ได้เร็วกว่าเชื้อเพลิงดีเซล เนื่องจากเชื้อเพลิงผสมมีความหนืดต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซล ทำให้แรงต้านทานการไหลของเชื้อเพลิงผสมในระบบจ่ายเชื้อเพลิงแรงดันสูงมีค่าต่ำกว่า จึงสามารถฉีดเข้าไปภายในห้องเผาไหม้ได้เร็วกว่า [14],[15]



รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิง ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้และช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิด

ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมทุกกรณีอยู่ในช่วง 10 ถึง 28°ATDC ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ล่าช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซลที่เริ่มต้นการเผาไหม้ใกล้ศูนย์ตายบน (TDC) เมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม การเผาไหม้เกิดขึ้นช้าลง ส่งผลให้ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดสูงขึ้น

อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลและ B40E60 มีค่า 7°CA และ 20°CA ตามลำดับ ซึ่งยังมีค่าแตกต่างกันมาก การศึกษาเพื่อลดช่วงเวลาหน่วงการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงเอทานอลผสมสารจุดระเบิด เช่น การอุ่นห้องเผาไหม้ การเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์จึงมีความจำเป็นเพื่อการพัฒนาในอนาคต

4. สรุป

การทดลองนี้ได้ทดสอบผลของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอลที่มีต่อสมรรถนะและลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซลเล็ก การเพิ่มอัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์ดีเซลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพต่อการพัฒนาคุณลักษณะการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ดีเซล เชื้อเพลิง B18E82 เป็นเชื้อเพลิงที่มีเอทานอลในสัดส่วนสูงสุดที่สามารถสตาร์ทเครื่องยนต์ได้

ตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงผสมทุกกรณีอยู่ในช่วง 12 ถึง 9°BTDC และไม่ขึ้นต่อความเข้มข้นของเอทานอล เชื้อเพลิง B40E60 มีตำแหน่งเริ่มต้นการฉีดเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 4 ถึง 13°BTDC มีความแปรปรวนสูงกว่ากรณีใช้เชื้อเพลิงดีเซล

ตำแหน่งเริ่มต้นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ในช่วง 10–28°ATDC ซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ล่าช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงดีเซล เมื่อเพิ่มสัดส่วนเอทานอลในเชื้อเพลิงผสม การเผาไหม้มีแนวโน้มเกิดล่าช้าขึ้น ส่งผลให้ช่วงเวลานองการจุดระเบิดสูงขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. K. Thakur, A. K. Kaviti, R. Mehra, and K. K. S. Mer, "Performance analysis of ethanol–gasoline blends on a spark ignition engine: a review," *Biofuels*, vol. 8, no. 1, pp. 91–112, 2017, doi: 10.1080/17597269.2016.1204586.
- [2] L. Pidol, B. Lecointe, L. Starck and N. Jeuland, "Ethanol–biodiesel–diesel fuel blends: performances and emissions in conventional diesel and advanced low temperature combustions," *Fuel*, vol. 93, pp. 329–338, 2012, doi: 10.1016/j.fuel.2011.09.008.
- [3] A. C. Hansen, Q. Zhang and P. W. Lyne, "Ethanol–diesel fuel blends—a review," *Bioresour. technology*, vol. 96, no. 3, pp. 277–285, 2005, doi: 10.1016/j.biortech.2004.04.007.
- [4] G. Dwivedi, S. Jain and M. P. Sharma, "Impact analysis of biodiesel on engine performance—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 9, pp. 4633–4641, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.07.089.
- [5] A. Paul, R. Panua and D. Debroy, "An experimental study of combustion, performance, exergy and emission characteristics of a CI engine fueled by Diesel-ethanol-biodiesel blends," *Energy*, vol. 141, pp. 839–852, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.09.137.
- [6] N. Yilmaz and T. M. Sanchez, "Analysis of operating a diesel engine on biodiesel-ethanol and biodiesel-methanol blends," *Energy*, vol. 46, no. 1, pp. 126–129, 2012, doi: 10.1016/j.energy.2011.11.062.
- [7] M. L. Randazzo and J. R. Sodré, "Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3–B20) with ethanol as an additive (B20E2–B20E5)," *Fuel*, vol. 90, no. 1, pp. 98–103, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2010.09.010.
- [8] H. G. How, H. H. Masjuki, M. A. Kalam and Y. H. Teoh, "Engine performance, emission and combustion characteristics of a common-rail diesel engine fuelled with bioethanol as a fuel additive in coconut oil biodiesel blends," *Energy Procedia*, vol. 61, pp. 1655–1659, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.185.
- [9] L. Zhu, C. S. Cheung, W. G. Zhang and Z. Huang, "Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends," *Fuel*, vol. 90, no. 5, pp. 1743–1750, 2011, doi: 10.1016/j.fuel.2011.01.024.
- [10] A. S. Bika, L. M. Franklin and D. B. Kittelson, "Hydrogen as a combustion modifier of ethanol in compression ignition engines," *SAE Technical Paper*, Jun, 2009, Art. no. 2009-01-2814, doi: 10.4271/2009-01-2814.
- [11] P. Kwanchareon, A. Luengnaruemitchai and S. Jai-In, "Solubility of a diesel–biodiesel–ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine," *Fuel*, vol. 86, no. 7–8, pp. 1053–1061, 2007, doi: 10.1016/j.fuel.2006.09.034.

-
- [12] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 1988.
- [13] M. H. Yasin, R. Mamat, A. A. Abdullah, N. R. Abdullah and M. L. Wyszynski, "Cycle-to-cycle variations of a diesel engine operating with palm biodiesel," *Journal of KONES Powertrain and Transport*, vol. 20, no. 3, pp. 443–450, 2013.
- [14] R. Munsin, Y. Laoonual, S. Jugjai, M. Matsuki and H. Kosaka, "Effect of glycerol ethoxylate as an ignition improver on injection and combustion characteristics of hydrous ethanol under CI engine condition," *Energy Conversion and Management*, vol. 98, pp. 282–289, 2015, doi: 10.1016/j.enconman.2015.03.116.
- [15] S. H. Park, H. K. Suh and C. S. Lee, "Nozzle flow and atomization characteristics of ethanol blended biodiesel fuel," *Renewable energy*, vol. 35, no. 1, pp. 144–150, 2010, doi: 10.1016/j.renene.2009.06.012.

การประยุกต์แบบจำลอง Goal-Directed Behavior เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้จักรยาน
ผ่านคุณลักษณะของเพศ และการมีรถยนต์ในครอบครองของผู้เดินทางในเขตเมือง
จังหวัดชลบุรี

Applying the Model of Goal-Directed Behavior to Explain Cycling Behaviors
Characterised by Traveler's Gender and Car Ownership in
Chonburi Urban Areas

จัตรงค์ อินทะนู¹ และ สุรเมศวร์ ปิริยะวัฒน์^{1,*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา แสนสุข เมืองชลบุรี ชลบุรี 20131

Chaturong Intanu¹ and Surames Piriyawat^{1,*}

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Saen Suk, Mueang Chonburi,
Chonburi, 20131, Thailand

*Corresponding Author E-mail: suramesp@eng.buu.ac.th

Received: Aug 06, 2021; Revised: Sep 10, 2021; Accepted: Sep 13, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการอธิบายความพยายามเดินทางด้วยจักรยานของผู้เดินทางในพื้นที่เขตเมือง จังหวัดชลบุรี กลุ่มตัวอย่างจำนวน 750 ตัวอย่าง ได้จากการสุ่มแบบไม่เจาะจง จากผู้เดินทางในเขตเมืองชลบุรี ศรีราชา และบางละมุง หลังการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ข้อมูลที่สมบูรณ์จำนวน 597 ชุด ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ส่งอิทธิพลต่อความพยายามที่จะเดินทางด้วยจักรยานตามทฤษฎี The Model of Goal-Directed Behavior โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบตามลักษณะทางเพศ และการมีรถยนต์ในครอบครอง ผลการวิเคราะห์ พบว่า พฤติกรรมการใช้จักรยานในอดีต เป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความพยายามเดินทางด้วยจักรยานของกลุ่มตัวอย่าง โดยไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผลในการแสดงพฤติกรรม ทั้งในการวิเคราะห์โดยจำแนกตามเพศ (ค่าอิทธิพลแบบจำลองเพศชาย 0.556 และเพศหญิง 0.380 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01) และการมีรถยนต์ในครอบครอง (ค่าอิทธิพลแบบจำลองไม่มีรถยนต์ในครอบครอง 0.486 และมีรถยนต์ในครอบครอง 0.456 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01) นอกจากนี้ ยังพบว่า บรรทัดฐานของบุคคล การรับรู้ถึงความยากง่ายในการแสดงพฤติกรรม และความรู้สึกเชิงบวกที่มีต่อการใช้จักรยาน มีอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยานของกลุ่มตัวอย่างทุกกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ปัจจัยทัศนคติส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยานเฉพาะในแบบจำลองของกลุ่มตัวอย่างเพศชาย และกลุ่มที่มีรถยนต์ในครอบครอง

คำสำคัญ: The Model of Goal-Directed Behavior, พฤติกรรมการเดินทาง, จักรยาน, ชลบุรี

Abstract

This article presents the explaining of trying to use bicycle of travelers in Chonburi urban areas. The random sampling technique was employed for selecting 750 samples from the focused groups in studied areas, Mueang Chonburi, Sriracha, and Banglamung districts. After proving all data, useable 597 data sets were analysed by Structural Equation Modeling to reveal the influences of independent factors to the effort to cycling in daily life. The Model of Goal-Directed Behavior was used as the theoretical framework to structuring the variables in the model. The analysing processes were characterised by gender and car ownership in order to compare the results from each group. The results found that the focused group's past cycling behavior role as the significant factor which influence the trying to cycling for non-rational behavioral processes for both those who characterised by gender (Effects are 0.556 and 0.380 for male and female model respectively at 0.01 level of significant) and car ownership (Effects are 0.486 and 0.456 for non-car owner and car owner model respectively at 0.01 level of significant). Furthermore, the results also show that subjective norm, perceived behavioral control, and positive anticipated emotion on cycling significantly impact the desire to cycling. However, the attitudes perform as significant factors on desire specifically for the model of male and car occupant groups.

Keywords: The Model of Goal-Directed Behavior, Travel Behavior, Bicycle, Chonburi

1. ความเป็นมาของปัญหา

จังหวัดชลบุรีเป็นศูนย์กลางที่ดึงดูดสาหรรมขนาดใหญ่ของประเทศและเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมสมัยใหม่ของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งยังเป็นพื้นที่เขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor: EEC) ส่งผลให้ปัจจุบันจังหวัดชลบุรีมีปริมาณการเดินทางในพื้นที่เป็นจำนวนมาก และเกิดปัญหาต่าง ๆ ของระบบเมืองตามมา อาทิ การจราจรติดขัด อุบัติเหตุจราจร ความไม่เพียงพอของพื้นที่จอดรถ เป็นต้น [1]

จากปัญหาข้างต้น การพัฒนาทางเลือกในการเดินทางให้กับชุมชนเมืองที่ได้รับผลกระทบดังกล่าว ด้วยการศึกษารูปแบบการเดินทางทางเลือกที่สามารถใช้งานได้ง่าย มีราคาไม่แพงจนเกินไป และสามารถใช้ในการเข้าถึงแหล่งกิจกรรมของชุมชนในชีวิตประจำวันและเข้าสู่สถานียระบบขนส่งรูปแบบหลักที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้อย่างสะดวก จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อสนับสนุนการเดินทางระดับบุคคล (Individual Scale) ในการเข้าถึงแหล่งกิจกรรม และสถานียระบบขนส่ง ที่เน้นความคล่องตัวและเป็นส่วนตัว และเพื่อตอบสนองการใช้ชีวิตวิถีใหม่ (New Normal Lifestyle) หลังผ่านช่วงวิกฤติการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19

โดยการเดินทางที่เป็นทางเลือก และตรงกับแนวคิดดังกล่าว ได้แก่ จักรยาน ซึ่งถือได้ว่าเป็นยานพาหนะที่สะอาด ไร้มลพิษ เป็นรูปแบบการเดินทางที่ส่งเสริมสุขภาพที่ดีให้กับผู้ใช้จักรยาน [2],[3] ลดปัญหาการจราจรในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น และเป็นรูปแบบการเดินทางที่ใช้ในการเข้าถึงระบบรางได้อย่างมีประสิทธิภาพในเมืองที่ใช้ระบบรางเป็นรูปแบบการเดินทางหลัก [4-6]

อย่างไรก็ดี สำหรับประเทศไทย พบว่าการใช้จักรยานเพื่อการเดินทางในชีวิตประจำวันมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรของประเทศ โดยจากข้อมูลของกรุงเทพมหานคร พบว่ามีผู้ใช้จักรยานในชีวิตประจำวันร้อยละ 0.25 ของจำนวนประชากร [7] แม้ว่าการใช้จักรยานจะมีข้อดีหลายประการดังกล่าวแล้วข้างต้น แต่การใช้จักรยานยังคงไม่เป็นที่นิยมสำหรับคนไทยเท่าที่ควร [8] ด้วยเหตุนี้ การส่งเสริมจักรยานให้เป็นทางเลือกในการเดินทาง รวมถึงการพัฒนากระบวนการที่ทำให้การใช้จักรยานได้รับการสนับสนุนและยอมรับจากคนในชุมชนจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ และควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนและบริหารจัดการให้การใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน มีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติยิ่งขึ้นในอนาคต

จากการศึกษาที่ผ่านมา มีปัจจัยหลายประการ ที่ส่งผลต่อการใช้จักรยาน โดย Litman [9] กล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกรูปแบบการเดินทางที่ปราศจากเครื่องยนต์ (Non-Motorized Modes) ซึ่งรวมถึงจักรยานด้วยนั้น ได้แก่ อายุ รายได้ ระดับการศึกษา สิ่งอำนวยความสะดวก สภาพถนน ระยะทางต่อเที่ยว และลักษณะการใช้พื้นที่ จากบทความของ Winters et al. [10] กล่าวว่า เส้นทางจักรยานที่มีทัศนียภาพสวยงาม และมีช่องทางจักรยานแยกออกจากกระแสจราจรบนท้องถนน รวมถึงสภาพของเส้นทาง เป็นสิ่งจูงใจให้เกิดการใช้จักรยานได้ ขณะที่ Engbers and Hendriksen [11] พบว่า เวลาและระยะทางในการเดินทาง เป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับชาวเมืองอัมสเตอร์ดัมในการเดินทางด้วยจักรยาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเดินทางไปทำงาน นอกจากนี้ Phala and Bejrananda [12] พบว่า สภาพอากาศที่ร้อน เส้นทางที่ไม่เหมาะสม สภาพการจราจร เวลาในการเดินทาง ระยะทางของจุดหมาย ความปลอดภัย และความสามารถในการบรรทุก เป็นปัจจัยที่ทำให้ประชาชนในเขตเมืองขอนแก่นไม่นิยมใช้จักรยาน และ Raha [13] พบว่า อุปสรรคอันเกิดจากสภาพของทางเท้า อุปสรรคบนถนน และการสร้างโครงข่ายเส้นทางเฉพาะสำหรับจักรยานที่มีความต่อเนื่อง เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการส่งเสริมการใช้จักรยาน

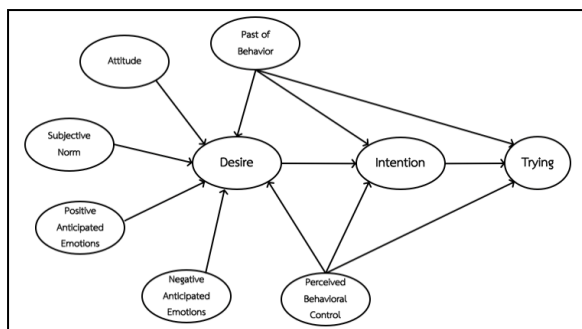
นอกจากนี้ มีผลการศึกษาที่อธิบายทัศนคติของผู้เดินทางที่มีต่อการใช้จักรยาน โดย Li et al. [14] พบว่า กลุ่มคนที่ใช้จักรยาน ส่วนใหญ่เป็นผู้ที่มีความตระหนักด้านสิ่งแวดล้อม ความปรารถนาสภาพเศรษฐกิจที่ดี การรับรู้ต่อการจักรยาน และความเต็มใจที่จะใช้จักรยาน จากการศึกษาของ Stinson and Bhat [15] พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้จักรยานในการเดินทาง คือ แรงจูงใจ ซึ่งเป็นผลมาจากความกังวลด้านสุขภาพ ความเพลิดเพลินสนุกสนาน ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการใช้รถยนต์ ความสะดวกรวดเร็ว ความต้องการหลีกเลี่ยงการจราจรในสภาพที่แออัด และ Piriyawat and Intanu [16] พบว่า ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับทัศนคติ ได้แก่ บรรทัดฐานส่วนบุคคล ความตระหนักถึงผลที่ตามมา ความรับผิดชอบต่อการกระทำของตน บรรทัด

ฐานสังคม ทั้งระดับครัวเรือนและระดับสังคม ความรู้สึกเชิงบวกที่มีต่อการใช้จักรยาน และประสบการณ์ในอดีต มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความปรารถนาที่จะใช้จักรยาน

จากที่กล่าวข้างต้น ปัจจัยด้านกายภาพ อาจเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลต่อการใช้จักรยานก็จริง แต่สิ่งที่ส่งอิทธิพลต่อพฤติกรรมการเดินทางของผู้คน บางส่วนมาจากการขับเคลื่อนของปัจจัยที่ถูกจัดอยู่ในชุดความคิด (Mind Set) ของผู้คนเหล่านั้น ขณะที่การศึกษาทัศนคติที่มีต่อการใช้จักรยาน ส่วนใหญ่เป็นการตรวจสอบแนวคิดทั่วไปของผู้คนที่มีต่อการใช้จักรยาน โดยไม่ได้ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการปรับพฤติกรรม มาประยุกต์ใช้ในการอธิบายปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้จักรยาน ด้วยเหตุผลที่กล่าวมานี้ บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอผลการตรวจสอบปัจจัยที่อธิบายความพยายามเดินทางด้วยจักรยาน โดยใช้แบบจำลอง Goal-Directed Behavior เป็นกรอบทฤษฎี (Theoretical Framework) ในการอธิบายปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อความพยายามเดินทางด้วยจักรยานของผู้เดินทางในเขตเมือง จังหวัดชลบุรี โดยบทความนี้ได้เขียนขึ้นโดยการปรับปรุงเนื้อหาบางส่วนจากบทความที่ได้ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 (NCCE 26) [17] มาแล้ว ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง (Structural Equation Model, SEM) โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะของเพศ และการมีรถยนต์ในครอบครองของกลุ่มตัวอย่าง ผลการศึกษานี้ จะทำให้เข้าใจคุณลักษณะของผู้เดินทางที่จัดอยู่ในกลุ่มผู้มีแนวโน้มที่จะใช้จักรยานในอนาคต และยังทำให้ทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผู้เดินทางที่นำไปสู่การปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยาน ดังจะได้นำเสนอในรายละเอียดต่อไป

2. แบบจำลอง Goal-Directed Behavior

The Model of Goal-Directed Behavior (MGB) เป็นทฤษฎีที่ถูกพัฒนาเพิ่มเติมจาก The Theory of Planned Behavior (TPB) [18–20] โดย MGB มีองค์ประกอบของปัจจัยและตัวแปร รวมถึงการส่งอิทธิพลระหว่างปัจจัย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 Model of Goal-Directed Behavior [21]

จากรูปที่ 1 สมมติฐานตามทฤษฎี MGB [21–23] กล่าวว่า บุคคลจะแสดงออกถึงความพยายามมุ่งมั่นที่จะแสดงพฤติกรรม (Trying) ก็ต่อเมื่อมีความตั้งใจหรือเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรมนั้น (Intention) ซึ่งเกิดจากความปรารถนาที่จะแสดงพฤติกรรม (Desire) ดังกล่าวนั้นเอง โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลโดยตรงต่อความปรารถนาที่จะแสดงพฤติกรรม ได้แก่ ทศนคติที่มีต่อพฤติกรรม (Attitudes) บรรทัดฐานของบุคคลเกี่ยวกับพฤติกรรม (Subjective Norm) และการรับรู้ถึงการควบคุมตนเองในการแสดงพฤติกรรม (Perceived Behavioral Control) โดยการรับรู้ถึงการควบคุมตนเองในการแสดงพฤติกรรม ยังส่งอิทธิพลโดยตรงต่อความตั้งใจหรือเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรม (Intention) และความพยายามมุ่งมั่นที่จะแสดงพฤติกรรม (Trying) ด้วย [18–20] ซึ่งหมายความว่า การรับรู้ถึงการควบคุมตนเองในการแสดงพฤติกรรม สามารถส่งอิทธิพลต่อการแสดงพฤติกรรมได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผลผ่านความปรารถนา และเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรมนั่นเอง

ปัจจัยที่เพิ่มเติมจากทฤษฎี TPB ได้แก่ ความรู้สึกเชิงบวกที่มีต่อพฤติกรรม (Positive Anticipated Emotion) และความรู้สึกเชิงลบที่มีต่อพฤติกรรม (Negative Anticipated Emotion) ซึ่งเป็นความรู้สึกหรืออารมณ์ด้านบวกและลบที่เกิดขึ้นกับบุคคลซึ่งเป็นผลตามมาจากแสดงพฤติกรรม ถ้าเป็นด้านบวก ความรู้สึกหรืออารมณ์เชิงบวกนั้น จะเป็แรงจูงใจให้บุคคลเกิดความปรารถนา (Desire) ที่จะแสดงพฤติกรรมดังกล่าวมากขึ้น ในทางตรงข้าม ถ้าเป็นความรู้สึกหรืออารมณ์เชิงลบ ก็จะลดความปรารถนาในการแสดงพฤติกรรมดังกล่าวลง

นอกจากนี้ ประสบการณ์หรือพฤติกรรมในอดีต (Past Behavior) เป็นอีกปัจจัยที่มีความสำคัญในแบบจำลองทฤษฎี MGB เนื่องจากเป็นตัวแปรที่เป็นบ่งบอกถึงเหตุผลเชิงประจักษ์และนัยสำคัญของการปลูกฝังพฤติกรรมพึงประสงค์ให้กับผู้เดินทาง เพื่อให้เกิดพฤติกรรมที่ดีด้านใดด้านหนึ่งในอนาคต โดยเมื่อพฤติกรรมใด ๆ ได้ถูกปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอจนเป็นกิจวัตรแล้ว พฤติกรรมดังกล่าวจะถูกพัฒนาเป็นความเคยชิน และเมื่อเกิดเป็นพฤติกรรมเคยชินแล้ว การแสดงออกของพฤติกรรมนั้นจะเป็นอย่างอัตโนมัติ [24–25] ด้วยเหตุนี้ นอกจากประสบการณ์หรือพฤติกรรมในอดีต จะส่งอิทธิพลต่อความปรารถนา (Desire) และเจตนา (Intention) ที่จะแสดงพฤติกรรม ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการแสดงพฤติกรรมตามหลักการคิดเชิงเหตุผลแล้ว ยังสามารถส่งอิทธิพลโดยตรงต่อความพยายามแสดงพฤติกรรม (Trying) ด้วย ซึ่งหมายความว่า ประสบการณ์หรือพฤติกรรมในอดีตที่ปฏิบัติอย่างต่อเนื่องจนเป็นความเคยชินแล้ว สามารถส่งอิทธิพลต่อการแสดงพฤติกรรมให้เป็นไปอย่างอัตโนมัติ โดยไม่ผ่านหลักการคิดเชิงเหตุผลที่เกิดจากการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาพิจารณาเพื่อตัดสินใจว่าจะทำหรือไม่ทำนั่นเอง [26]

จากโครงสร้างของปัจจัยตามทฤษฎี MGB ตามที่กล่าวข้างต้น สามารถพิจารณาการส่งอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อการแสดงพฤติกรรมเป็น 2 กระบวนการ ได้แก่ การแสดงพฤติกรรมที่เกิดจากกระบวนการเชิงเหตุผล และการแสดงพฤติกรรมที่ไม่ผ่านกระบวนการเชิงเหตุผล โดย การแสดงพฤติกรรมที่เกิดจากกระบวนการเชิงเหตุผล คือ พฤติกรรมที่แสดงออกมาโดยผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นตามกระบวนการส่งอิทธิพล โดยจากแบบจำลอง MGB การแสดงพฤติกรรมเกิดจากเจตนา (Intention) เจตนาเกิดจากความประสงค์ (Desire) และความประสงค์ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากปัจจัยหรือตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบ

ขณะที่การแสดงพฤติกรรมที่ไม่ผ่านกระบวนการเชิงเหตุผล คือ การแสดงพฤติกรรมหรือการปรับพฤติกรรมที่ไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล โดยไม่ได้รับอิทธิพลจากปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นตามกระบวนการส่งอิทธิพลตามหลักเหตุผลนั่นเอง โดยจากแบบจำลอง MGB การแสดงพฤติกรรม

ตามกระบวนการนี้เกิดจาก 1) พฤติกรรมที่เกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ ซึ่งเป็นผลมาจากประสบการณ์ในอดีต (Past Experience) หรือพฤติกรรมในอดีตที่ทำซ้ำ ๆ (Repeated Behavior) จนเกิดเป็นความเคยชิน (Habitual Behavior) และ 2) การรับรู้ถึงความบีบคั้นและความยากลำบากจากการแสดงพฤติกรรมหรือปรับพฤติกรรม (Perceived Behavioral Control) โดยถ้าเป็นพฤติกรรมที่สามารถปฏิบัติได้ บุคคลจะไม่รู้สึกถูกควบคุมหรือบีบคั้นให้แสดงพฤติกรรม แต่ถ้าเป็นพฤติกรรมที่ไม่สามารถปฏิบัติได้หรือไม่ประสงค์จะปฏิบัติ บุคคลจะรู้สึกว่าถูกควบคุมหรือบีบคั้น การพยายามออกจากสถานการณ์ที่ทำให้บุคคลรู้สึกถึงการถูกควบคุมหรือบีบคั้นนั้น อาจทำให้เกิดการแสดงพฤติกรรมโดยไม่ผ่านการคิดถึงเหตุผลได้

3. พื้นที่ศึกษาและกลุ่มเป้าหมาย

การศึกษานี้ กำหนดให้พื้นที่เขตเมืองจังหวัดชลบุรีเป็นพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาเมืองที่เป็นศูนย์กลางกิจกรรมและมีลักษณะเป็นชุมชนเมือง โดยใช้ความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยจากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติจังหวัดชลบุรีพบว่า พื้นที่อำเภอเมืองชลบุรี มีความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 1,464 คน/ตร.กม. รองลงมาได้แก่ อำเภอบางละมุง และอำเภอศรีราชา มีความหนาแน่น 643 คน/ตร.กม. และ 512 คน/ตร.กม. ตามลำดับ [27] เมื่อพิจารณาร่วมกับความสำคัญของเมืองและความเป็นศูนย์กลางกิจกรรมของประชาชนในพื้นที่จึงเลือก 3 พื้นที่ข้างต้นเป็นพื้นที่ศึกษา

สำหรับกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ ผู้เดินทางใน 3 พื้นที่ศึกษาข้างต้น กลุ่มเป้าหมายนี้จะถูกเลือกแบบไม่เจาะจง (Random Sampling) โดยใช้หลักการทางสถิติในการกำหนดขนาดตัวอย่าง ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และความคลาด

เคลื่อนที่ขอมให้เกิดขึ้นได้ร้อยละ 5 โดยจากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ จังหวัดชลบุรี พบว่า อำเภอเมืองชลบุรี อำเภอศรีราชา และอำเภอบางละมุง มีจำนวนประชากรเท่ากับ 335,063 คน 315,629 คน และ 301,607 คน ตามลำดับ [27] รวมทั้ง 3 พื้นที่ มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 952,299 คน จากการคำนวณจำนวนตัวอย่างเมื่อประชากรมากกว่า 900,000 จำนวนตัวอย่างจะมุ่งเข้าสู่จำนวน 400 [28] อย่างไรก็ตาม ในการสำรวจข้อมูลจริง ได้ทำการสำรวจข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 750 ตัวอย่าง เพื่อสำรวจไว้ในกรณีที่อาจเกิดความไม่สมบูรณ์ของข้อมูล ซึ่งเป็นความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากบุคคล (Human Errors) ที่สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างการสัมภาษณ์ข้อมูล โดยสรุปจำนวนตัวอย่างจากแต่ละพื้นที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนตัวอย่างจากแต่ละพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	จำนวน (ตัวอย่าง)
อำเภอเมืองชลบุรี	250
อำเภอศรีราชา	250
อำเภอบางละมุง	250
รวม	750

4. ตัวแปรและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรใน

แบบจำลอง

คำถามที่ใช้ตรวจสอบข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมาย ถูกกำหนดตามตัวแปรวัดค่าได้ในแต่ละกลุ่มของปัจจัยแฝงตามกรอบทฤษฎีแบบจำลอง Goal-Directed Behavior โดยมีปัจจัยแฝง ตัวแปรวัดค่าได้ และคำถามที่ใช้ในประเด็นที่ต้องการตรวจสอบจากกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวแปรและประเด็นที่พิจารณา

ปัจจัยแฝง	ตัวแปรวัดค่าได้	คำอธิบาย
ทัศนคติเกี่ยวกับการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (Attitude, ATT)		
ความตระหนักถึงปัญหา ระดับสังคม (D1)	D1.1	ความตระหนักถึงปัญหาการใช้พลังงานระดับสังคม
	D1.2	ความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับสังคม
	D1.3	ความตระหนักถึงปัญหาอุบัติเหตุจราจรระดับสังคม

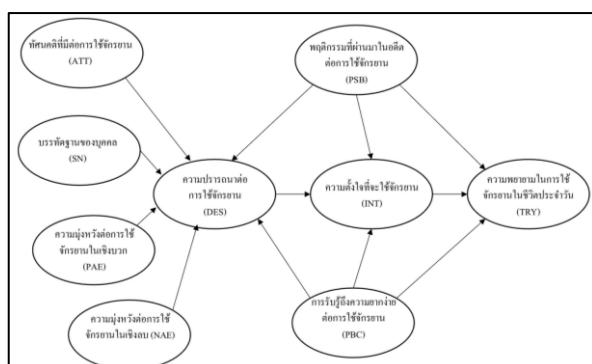
ตารางที่ 2 ตัวแปรและประเด็นที่พิจารณา (ต่อ)

ปัจจัยแฝง	ตัวแปรวัดค่าได้	คำอธิบาย
ความตระหนักถึงปัญหา ระดับบุคคล (D2)	D2.1	ความตระหนักถึงปัญหาการใช้พลังงานระดับบุคคล
	D2.2	ความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับบุคคล
	D2.3	ความตระหนักถึงปัญหาอุบัติเหตุจราจรระดับบุคคล
ความรับผิดชอบต่อสังคม (D3)	D3.1	ตนเองคือผู้รับผิดชอบต่อปัญหา
	D3.2	ผู้บริหารท้องถิ่นและชุมชนคือผู้รับผิดชอบต่อปัญหา
	D3.3	ทุกคนในชุมชนคือผู้รับผิดชอบต่อปัญหา
การให้ความสำคัญกับ ปัญหาที่เกิดขึ้นในสังคม (D4)	D4.1	การให้ความสำคัญกับการประหยัดน้ำมัน
	D4.2	การให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมในชุมชน
	D4.3	การให้ความสำคัญกับความปลอดภัยในการเดินทาง และการป้องกันอุบัติเหตุจราจรในชุมชน
ความรับผิดชอบต่อผลที่ ตามมา (D6)	D6.1	มีความเข้าใจถึงผลที่ตามมาว่า การใช้จักรยานช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง
	D6.2	มีความเข้าใจถึงผลที่ตามมาว่า การใช้จักรยานช่วยลดมลพิษทางอากาศ
	D6.3	มีความเข้าใจถึงผลที่ตามมาว่า การใช้จักรยานช่วยลดมลภาวะทางเสียง
	D6.4	มีความเข้าใจถึงผลที่ตามมาว่า การใช้จักรยานช่วยลดอุบัติเหตุจราจร
ทัศนคติเกี่ยวกับการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (Attitude, ATT) (ต่อ)		
การยอมรับการใช้จักรยาน ในการเดินทางในชีวิต ประจำวัน (D8)	D8.1	การให้การยอมรับจักรยานในการเดินทาง
	D8.2	การยอมรับการใช้จักรยานถ้ามีการพัฒนาและปรับปรุงด้านกายภาพให้ส่งเสริมการใช้จักรยาน
บรรทัดฐานของบุคคลที่มีต่อการใช้จักรยาน (Subjective norm, SN)		
บรรทัดฐานของบุคคล (D9)	D9.1	ถ้าบุคคลในครอบครัวใช้จักรยาน ท่านก็จะใช้จักรยานด้วยเช่นกัน
	D9.2	บุคคลในครอบครัวสนับสนุน ถ้าท่านใช้จักรยาน
	D9.3	ถ้าบุคคลใกล้ชิด อาทิ เพื่อนสนิท เพื่อนร่วมงาน ฯลฯ ใช้จักรยาน ท่านก็จะใช้จักรยานด้วยเช่นกัน
	D9.4	บุคคลใกล้ชิด อาทิ เพื่อนสนิท เพื่อนร่วมงาน ฯลฯ สนับสนุน ถ้าท่านใช้จักรยาน
การรับรู้ถึงความยากง่ายในการใช้จักรยาน (Perceived behavioral control, PBC)		
การรับรู้ถึงความยากง่าย ในการใช้จักรยาน (D10)	D10.1	ความเข้าใจถึงความยากลำบากในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
	D10.2	ความเข้าใจถึงการให้ความพยายามอย่างมากในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
	D10.3	ความเข้าใจถึงการใช้เวลาในการปรับตัวในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
ความรู้สึกเชิงบวกที่มีต่อการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (Positive anticipated emotions, PAE)		
ความรู้สึกเชิงบวกที่มีต่อ การใช้จักรยานใน ชีวิตประจำวัน (D11)	D11.1	ความรู้สึกมีคุณค่าถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
	D11.2	ความรู้สึกภาคภูมิใจถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
	D11.3	ความรู้สึกประสบความสำเร็จถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน

ตารางที่ 2 ตัวแปรและประเด็นที่พิจารณา (ต่อ)

ปัจจัยแฝง	ตัวแปรวัดค่าได้	คำอธิบาย
ความรู้สึกเชิงลบที่มีต่อการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (Negative anticipated emotions, NAE)		
ความรู้สึกเชิงลบที่มีต่อการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (D12)	D12.1	ความรู้สึกผิดพลาด ถ้าต้องเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
	D12.2	ความรู้สึกผิดหวัง ถ้าต้องเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
	D12.3	ความรู้สึกอับอายและล้มเหลว ถ้าต้องเปลี่ยนไปใช้จักรยาน
ความปรารถนาที่จะใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (Desire, DES)		
ความปรารถนาที่จะใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (D13)	D13.1	ความคิดเห็นในการปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานในชีวิตประจำวันแทนการใช้จักรยานยนต์และรถยนต์ส่วนบุคคล
	D13.2	ระดับความต้องการที่จะเปลี่ยนไปใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน
พฤติกรรมในอดีตของการใช้จักรยานในการเดินทาง (Past behavior, PSB)		
พฤติกรรมในอดีตของการใช้จักรยานในการเดินทาง (D14)	D14	ความถี่ของการใช้จักรยานในช่วง 6 เดือนที่ผ่านมา
ความตั้งใจ/เจตนาที่จะใช้จักรยาน (Intention, INT)		
ความตั้งใจ/เจตนาที่จะใช้จักรยาน (D15)	D15.1	ความตั้งใจที่จะเปลี่ยนไปใช้จักรยานในอนาคต
	D15.2	แนวโน้มที่จะใช้จักรยานเมื่อปรับปรุงแก้ไขอุปสรรคที่มีต่อการใช้จักรยานแล้ว
ความพยายามในการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (Trying, TRY)		
ความพยายามในการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน	D16.2	ความตั้งใจที่จะใช้จักรยานในการเดินทาง (ความถี่)

จากทฤษฎี MGB กลุ่มปัจจัย และตัวแปรวัดค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 2 สามารถกำหนดโครงสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามทฤษฎี MGB

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1. ภาพรวมของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลจากการสำรวจ จำนวน 750 ตัวอย่าง เมื่อผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลแล้ว ได้ทำการคัดเลือกข้อมูลที่สมบูรณ์และสามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ทั้งสิ้น จำนวน 597 ชุด โดยในเบื้องต้น ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาเพื่อตรวจสอบภาพรวมของสถานะทางเศรษฐกิจและสังคม (Socioeconomic Characteristics) และข้อมูลการเดินทาง (Travel Characteristics) ของกลุ่มตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 3,4 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ภาพรวมของกลุ่มตัวอย่าง

จำนวนข้อมูล 597		จำนวน	ร้อยละ
เพศ	ชาย	262	43.9
	หญิง	335	56.1
ระดับการศึกษา	ต่ำกว่าปริญญาตรี	316	52.9
	ปริญญาตรี	241	40.4
	ปริญญาโท	36	6.0
	ปริญญาเอก	4	0.7
ประเภทที่อยู่อาศัย	บ้านเดี่ยว	171	28.7
	ทาวน์เฮาส์	108	18.1
	ตึกแถว	38	6.4
	อพาร์ทเมนต์	230	38.6
	คอนโดมิเนียม	29	4.7
	อื่น ๆ	21	3.5
อายุเฉลี่ย (ปี) 32.8 (SD. = 8.5)			
รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท) 19,735 (SD. = 9,428)			
จำนวนยานพาหนะในครอบครองเฉลี่ย (คัน/ครัวเรือน)			
จักรยาน	0.43	(SD.= 0.72)	
จักรยานยนต์	0.90	(SD.= 0.50)	
รถยนต์ส่วนบุคคล	0.74	(SD.= 0.82)	

อายุเฉลี่ย (ปี) 32.8 (SD. = 8.5)

รายได้เฉลี่ยต่อเดือน (บาท) 19,735 (SD. = 9,428)

จำนวนยานพาหนะในครอบครองเฉลี่ย (คัน/ครัวเรือน)

จักรยาน	0.43	(SD.= 0.72)
จักรยานยนต์	0.90	(SD.= 0.50)
รถยนต์ส่วนบุคคล	0.74	(SD.= 0.82)

SD. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ตารางที่ 4 ข้อมูลการเดินทางของกลุ่มตัวอย่าง

จำนวนข้อมูล = 597		จำนวน	ร้อยละ
วัตถุประสงค์	ทำงาน	489	82.0
	ซื้อของ	57	9.6
หลักของการ	เรียนหนังสือ	11	1.8
	สนทนาการ	35	5.8
	กิจกรรมทางสังคม	3	0.5
	ธุระส่วนตัว	2	0.3
จุดต้นทาง	บ้านที่พัก	576	96.4
	อื่น ๆ	21	3.6
จุดปลายทาง	บ้านที่พัก	32	5.3
	อื่น ๆ	565	94.7

ตารางที่ 4 ข้อมูลการเดินทางของกลุ่มตัวอย่าง (ต่อ)

จำนวนข้อมูล = 597		จำนวน	ร้อยละ
รูปแบบการ	จักรยานยนต์	332	55.6
	รถยนต์	251	42.1
เดินทาง	จักรยาน	9	1.5
	รถประจำทาง	2	0.3
	เดิน	3	0.5

เวลาเฉลี่ยในการเดินทาง/เที่ยว (นาที) 24.2 (SD. = 11.46)

ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการเดินทาง/เที่ยว (บาท) 29.63 (SD. = 44.77)

SD. คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

5.2.การวิเคราะห์แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

สำหรับบทความนี้ ได้ทำการแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กลุ่ม ตามลักษณะของเพศ และการมีรถยนต์ในครอบครองของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของคุณลักษณะดังกล่าว ที่มีต่อความพยายามเดินทางด้วยจักรยานของกลุ่มตัวอย่าง โดยความแตกต่างทางเพศของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของบุคคลที่เป็นผลมาจากการกำหนดตามธรรมชาติ และทำให้เกิดความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของร่างกายและความรู้สึกนึกคิด น่าจะส่งผลต่อทัศนคติและความพยายามปรับพฤติกรรมเพื่อเดินทางโดยใช้จักรยาน [29–31] เช่นเดียวกับความแตกต่างของการมีรถยนต์ในครอบครองของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นคุณสมบัติของบุคคลที่เกิดจากความต่างกันของโอกาสและสถานะทางเศรษฐกิจของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เกิดจากการพัฒนาและสร้างขึ้นมาจากบุคคลในภายหลัง ไม่ได้เกิดจากการกำหนดตามธรรมชาติ

ก่อนทำการวิเคราะห์แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง ปัจจัยที่มีตัวแปรวัดค่าได้เป็นองค์ประกอบ จะต้องผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการวัดค่าองค์ประกอบเหล่านั้นก่อนว่ามีความเหมาะสมเพียงพอหรือไม่ โดยตรวจสอบจากค่า Cronbach's α ของกลุ่มตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบของปัจจัยเหล่านั้น โดยกลุ่มตัวแปรที่ให้ค่า Cronbach's α ตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป ถือว่ามีความน่าเชื่อถือใน

การวัดค่าสูง เป็นตัวแทนที่ดีของตัวแปรแฝงหรือปัจจัยนั้น ๆ และมีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับใช้ตรวจสอบทัศนคติ [32] โดยผลการวิเคราะห์ค่า Cronbach's α ของตัวแปรที่มีองค์ประกอบเป็นตัวแปรย่อยของกลุ่มปัจจัย

แต่ละกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 5 มีความน่าเชื่อถือของการวัดค่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้และมีความเหมาะสมเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่า Cronbach's α ของตัวแปรในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง

กลุ่มปัจจัย	ปัจจัยแฝง	Cronbach's α			
		เพศ		การมีรถยนต์ในครอบครอง	
		ชาย (N=262)	หญิง (N=335)	ไม่มี (N=217)	มี (N=380)
ทัศนคติ	ความตระหนักถึงปัญหาระดับสังคม	0.803	0.868	0.836	0.856
	ความตระหนักถึงปัญหาระดับบุคคล	0.934	0.935	0.945	0.930
	ความรับผิดชอบต่อสังคม	0.749	0.802	0.770	0.779
	ความตระหนักถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	0.928	0.915	0.926	0.914
	ความรับผิดชอบต่อส่วนรวม	0.905	0.931	0.937	0.911
	การยอมรับจักรยานในการเดินทาง	0.801	0.792	0.854	0.767
บรรทัดฐานบุคคล		0.971	0.968	0.964	0.974
ความรู้สึกรับผิดชอบ		0.973	0.970	0.967	0.974
ความรู้สึกรับผิดชอบ		0.952	0.933	0.955	0.933
การรับรู้ถึงความยากง่าย		0.948	0.948	0.950	0.946
ความปรารถนาที่จะใช้จักรยาน		0.835	0.859	-0.859	-0.843
เจตนาที่จะใช้จักรยาน		0.824	0.864	0.833	0.852

จากนั้น ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของกลุ่มปัจจัยด้วยวิธี Principal Component Analysis (PCA) เพื่อ วิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรที่เป็นองค์ประกอบในแต่ละกลุ่มปัจจัย และเพื่อลดจำนวนตัวแปรที่จะนำไปวิเคราะห์แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง โดยผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของ

แต่ละกลุ่มปัจจัยของแบบจำลองแต่ละกลุ่ม แสดงด้วยค่าอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบ (Loading Factors, LF) ดังแสดงในตารางที่ 6 จากนั้นกลุ่มปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ จะถูกนำไปวิเคราะห์แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 6 อิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบในแต่ละกลุ่มปัจจัยโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA)

กลุ่มปัจจัย	ปัจจัยแฝง	ตัวแปรวัดค่าได้	ค่าอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบ			
			เพศ		การมีรถยนต์ในครอบครอง	
			ชาย	หญิง	ไม่มี	มี
ATT	D1	D1.1	0.812	0.851	0.838	0.840
		D1.2	0.925	0.930	0.927	0.929
		D1.3	0.815	0.896	0.850	0.882

ตารางที่ 6 อธิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบในแต่ละกลุ่มปัจจัยโดยการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) (ต่อ)

กลุ่มปัจจัย	ปัจจัยแฝง	ตัวแปรวัดค่า ได้	ค่าอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบ			
			เพศ		การมีรถยนต์ในครอบครอง	
			ชาย	หญิง	ไม่มี	มี
ATT	D2	D2.1	0.925	0.928	0.936	0.923
		D2.2	0.963	0.955	0.966	0.954
		D2.3	0.939	0.940	0.949	0.936
	D3	D3.1	0.497	0.653	0.527	0.608
		D3.2	0.960	0.948	0.961	0.950
		D3.3	0.917	0.910	0.932	0.902
	D4	D4.1	0.952	0.922	0.936	0.930
		D4.2	0.957	0.937	0.951	0.939
		D4.3	0.897	0.915	0.917	0.903
	D6	D6.1	0.973	0.951	0.965	0.957
		D6.2	0.945	0.957	0.958	0.948
		D6.3	0.958	0.966	0.967	0.959
		D6.4	0.690	0.784	0.796	0.716
	D8	D8.1	0.914	0.910	0.934	0.901
		D8.2	0.952	0.932	0.966	0.941
SN		D9.1	0.945	0.940	0.920	0.957
		D9.2	0.964	0.962	0.960	0.966
		D9.3	0.969	0.970	0.963	0.974
		D9.4	0.962	0.951	0.958	0.956
PBC		D10.1	0.936	0.948	0.955	0.934
		D10.2	0.966	0.952	0.954	0.960
		D10.3	0.955	0.955	0.951	0.957
PAE		D11.1	0.977	0.975	0.970	0.979
		D11.2	0.980	0.981	0.978	0.984
		D11.3	0.966	0.960	0.955	0.966
NAE		D12.1	0.957	0.945	0.953	0.899
		D12.2	0.974	0.969	0.983	0.932
		D12.3	0.934	0.903	0.940	0.817
DES		D13.1	0.958	0.967	0.948	0.938
		D13.2	0.925	0.924	0.912	0.914
INT		D15.1	0.968	0.942	0.958	0.942
		D15.2	0.943	0.922	0.932	0.926

5.2.1 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง
กรณีจำแนกตามเพศของกลุ่มตัวอย่าง
ผลการวิเคราะห์ในกรณีจำแนกตามเพศของกลุ่มตัวอย่าง
ได้ค่าสถิติที่ใช้สำหรับตรวจสอบความเหมาะสมของแบบ
จำลองเปรียบเทียบกับเกณฑ์ทางสถิติที่ยอมรับได้ ดังแสดงใน
ตารางที่ 7 โดยพบว่า ค่าสถิติทุกตัวอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ตาม
เงื่อนไขการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยมีค่า
อิทธิพลระหว่างตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 8 และรูปที่ 3,4

ตารางที่ 7 ค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง กรณีจำแนกตามเพศของกลุ่มตัวอย่าง

ค่าสถิติ	เกณฑ์ทางสถิติ*	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลอง	
		เพศชาย	เพศหญิง
χ^2		12.525**	18.133***
ρ	>0.05	0.405	0.079
χ^2/df	<3.0	1.044	1.648
Goodness of fit index (GFI)	>0.90	0.991	0.990
Adjusted goodness of fit index (AGFI)	>0.90	0.953	0.941
Root mean square residual (RMR)	<0.10	0.028	0.025
Comparative fit index (CFI)	>0.94	1.000	0.995
Root mean square error of approximation (RMSEA)	<0.07	0.013	0.044

* ที่มา: Kline (1998) [33]; Hu and Bentler (1999) [34]

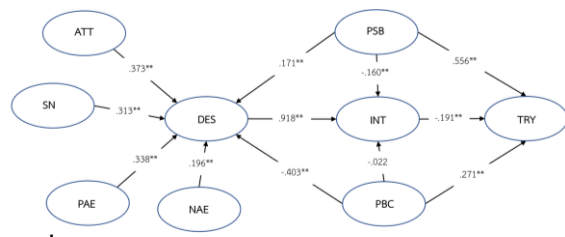
** df = 12, N = 262, *** df = 11, N = 335

ตารางที่ 8 อิทธิพลระหว่างปัจจัยในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง กรณีจำแนกตามเพศของกลุ่มตัวอย่าง

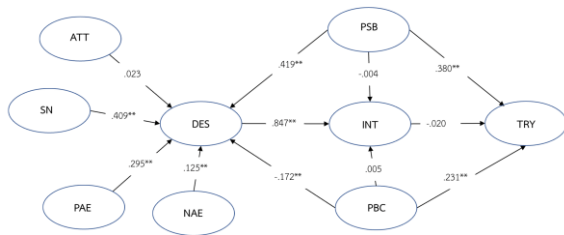
ตัวแปร	อิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลอง					
	DES		INT		TRY	
	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง	เพศชาย	เพศหญิง
ATT	.373**	.023				
SN	.313**	.409**				
PBC	-.403**	-.172**	-.022	.005	.271**	.231**
PAE	.338**	.295**				
NAE	.196*	.125**				
PSB	.171**	.419**	-.160**	-.004	.556**	.380**
DES			.918**	.847**		
INT					-.191**	-.020

* มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

** มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01



รูปที่ 3 อิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างสำหรับเพศชาย



รูปที่ 4 อิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างสำหรับเพศหญิง

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า การแสดงพฤติกรรม (TRY) ของทั้งเพศชายและหญิง ไม่ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการคิดเชิงเหตุผลผ่านความประสงค์ (DES) และเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรม (INT) โดยค่าอิทธิพลจาก INT ไปยัง TRY มีค่าเท่ากับ -0.191^{**} และ -0.020 สำหรับแบบจำลองเพศชายและเพศหญิง ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้น ส่งอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความประสงค์ที่จะปรับพฤติกรรม (DES) และก่อให้เกิดเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรม (INT) แต่ในขั้นของการแสดงพฤติกรรม ตัวแปรหรือปัจจัยดังกล่าว ไม่ได้ส่งอิทธิพลหรือส่งผลต่อความพยายามที่จะแสดงพฤติกรรม (TRY) โดยอาจกล่าวได้ว่า ทั้งกลุ่มเพศชายและเพศหญิง จะปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานโดยไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล แต่การปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานในอนาคตจะเกิดขึ้นได้จากประสบการณ์หรือพฤติกรรมในอดีตเป็นสำคัญ เนื่องจากรับรู้ว่าการใช้จักรยานในชีวิตประจำวันนั้น ในความเป็นจริงเป็นสิ่งที่ทำได้ยากและลำบากในทางปฏิบัติ ถ้ากลุ่มตัวอย่างพิจารณาตามหลักเหตุผล อาจเลือกที่จะไม่ใช้จักรยานในการเดินทาง แต่ถ้าเป็นการแสดงพฤติกรรมโดยไม่ผ่านการใช้เหตุผล ซึ่งเกิดจากความพึงพอใจ หรือประสบการณ์ที่ดีในอดีต การใช้จักรยานในอนาคตก็อาจเกิดขึ้นได้

สิ่งที่แตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างแบบจำลองกลุ่มเพศชายและเพศหญิงคือ ปัจจัยทัศนคติ (Attitudes) ที่ส่งอิทธิพลต่อ

ความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน ซึ่งพบว่าเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญเฉพาะในแบบจำลองของกลุ่มเพศชาย โดยเมื่อพิจารณาค่าอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบในกลุ่มปัจจัยทัศนคติ ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่า ปัจจัยทัศนคติประกอบด้วยตัวแปรองค์ประกอบที่สามารถเชื่อมโยงถึงประเด็นที่มีอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน ประกอบด้วยตัวแปรดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตัวแปรในกลุ่มปัจจัยทัศนคติของแบบจำลองเพศชายที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน (DES)

ประเด็นที่ตรวจสอบทัศนคติ	ตัวแปร	ค่าอิทธิพล
ความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับสังคม	D1.2	0.925
ความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับบุคคล	D2.2	0.963
ผู้บริหารท้องถิ่นและชุมชน คือ	D3.2	0.960
ผู้รับผิดชอบต่อปัญหา		
การให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมในชุมชน	D4.2	0.957
มีความเข้าใจถึงผลที่ตามมาว่า การใช้จักรยานช่วยลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง	D6.1	0.973
การยอมรับการใช้จักรยาน ถ้ามี	D8.2	0.952
การพัฒนาและปรับปรุงด้านกายภาพให้ส่งเสริมการใช้จักรยาน		

ด้วยเหตุนี้ ในการพัฒนากระบวนการคิดเชิงเหตุผลสำหรับเพศชายในการแสดงพฤติกรรมหรือการปรับพฤติกรรมการใช้จักรยานในอนาคต สามารถทำได้ด้วยการปรับปรุงและส่งเสริมในประเด็นดังกล่าว จะเพิ่มโอกาสให้ผู้เดินทางกลุ่มนี้ ปรับทัศนคติและกระบวนการคิดตามหลักเหตุผล เพื่อนำไปสู่การใช้จักรยานในที่สุด นอกจากนี้ ปัจจัยอื่นที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยานอย่างมีนัยสำคัญ มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งเพศชายและเพศหญิงดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ตัวแปรในกลุ่มปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน (DES) ของแบบจำลองเพศชายและเพศหญิง

ประเด็นที่ตรวจสอบทัศนคติ	ตัวแปร	ค่าอิทธิพล
บรรทัดฐานของบุคคลที่มีต่อการใช้จักรยาน (SN)		
เพศชาย: ถ้านักคลไกล่ซัด อาทิ เพื่อนสนิท เพื่อนร่วมงาน ฯลฯ ใช้จักรยาน จะมีอิทธิพลให้กลุ่มเป้าหมายใช้จักรยานด้วยเช่นกัน	D9.3	0.969
เพศหญิง: ถ้านักคลไกล่ซัด อาทิ เพื่อนสนิท เพื่อนร่วมงาน ฯลฯ ใช้จักรยาน จะมีอิทธิพลให้กลุ่มเป้าหมายใช้จักรยานด้วยเช่นกัน	D9.3	0.970
การรับรู้ถึงความยากง่ายในการใช้จักรยาน (PBC)		
เพศชาย: เข้าใจถึงการให้ความพยายามอย่างมากในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D10.2	0.966
เพศหญิง: เข้าใจถึงการใช้เวลาในการปรับตัวในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D10.3	0.955
ความรู้สึกลึกซึ้งบวกที่มีต่อการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (PAE)		
เพศชาย: ความรู้สึกภาคภูมิใจถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D11.2	0.980
เพศหญิง: ความรู้สึกภาคภูมิใจถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D11.2	0.981

5.2.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง กรณีจำแนกตามการมีรถยนต์ในครอบครอง ผลการวิเคราะห์ในกรณีจำแนกตามการมีรถยนต์ในครอบครองของกลุ่มตัวอย่าง ได้ค่าสถิติที่ใช้สำหรับตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองเปรียบเทียบกับ

เกณฑ์ทางสถิติที่ยอมรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 11 โดยพบว่า ค่าสถิติทุกตัวอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ตามเงื่อนไขการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง โดยมีค่าอิทธิพลระหว่างตัวแปร ดังแสดงในตารางที่ 12 และรูปที่ 5,6

ตารางที่ 11 ค่าสถิติที่ใช้ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง กรณีจำแนกตามการมีรถยนต์ในครอบครองของกลุ่มตัวอย่าง

ค่าสถิติ	เกณฑ์ทางสถิติ*	ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์	
		แบบจำลอง	
		ไม่มีรถยนต์	มีรถยนต์
χ^2		20.880**	15.898***
ρ	> .05	.052	.196
χ^2/df	< 3.0	1.740	1.325
Goodness of fit index (GFI)	> 0.90	0.98.	.992
Adjusted goodness of fit index (AGFI)	> 0.90	0.907	.958
Root mean square residual (RMR)	< 0.10	0.034	.022
Comparative fit index (CFI)	> 0.94	0.992	.998
Root mean square error of approximation (RMSEA)	< 0.07	0.059	.029

* ที่มา: Kline (1998) [33]; Hu and Bentler (1999) [34]

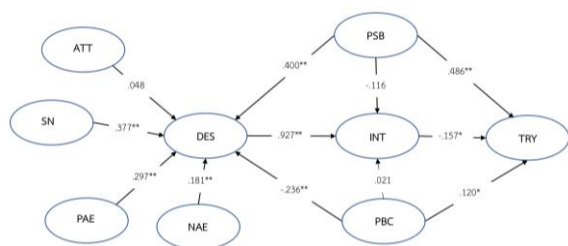
** $df = 12, N = 217$, *** $df = 12, N = 380$

ตารางที่ 12 อิทธิพลระหว่างปัจจัยในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้าง กรณีจำแนกตามการมีรถยนต์ในครอบครองของกลุ่มตัวอย่าง

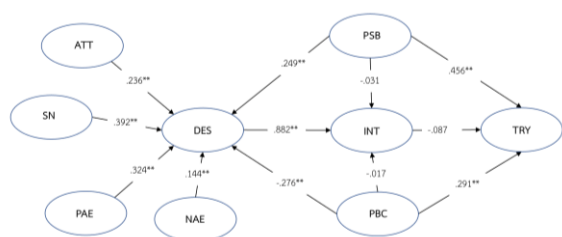
ตัวแปร	อิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลอง					
	DES		INT		TRY	
	ไม่มีรถ	มีรถ	ไม่มีรถ	มีรถ	ไม่มีรถ	มีรถ
ATT	.048	.236**				
SN	.377**	.392**				
PBC	-.236**	-.276**	.021	-.017	.120*	.291**
PAE	.297**	.324**				
NAE	.181**	.144**				
PSB	.400**	.249**	-.116	-.031	.486**	.456**
DES			.927**	.882**		
INT					-.157*	-.087

* มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

** มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01



รูปที่ 5 อิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างสำหรับกลุ่มไม่มีรถยนต์



รูปที่ 6 อิทธิพลระหว่างตัวแปรในแบบจำลองสมการเชิงโครงสร้างสำหรับกลุ่มมีรถยนต์

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า การแสดงพฤติกรรม (TRY) ของกลุ่มไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง ไม่ได้รับอิทธิพลจากกระบวนการคิดเชิงเหตุผลผ่านความประสงค์ (DES) และเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรม (INT) เช่นเดียวกับผลการวิเคราะห์ที่จำแนกตามเพศ โดยค่าอิทธิพลจาก INT ไปยัง

TRY มีค่าเท่ากับ -0.157* และ -0.087 สำหรับแบบจำลองกลุ่มไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง ตามลำดับ โดยทั้งกลุ่มไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง จะปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานโดยไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล แต่การปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานในอนาคตจะเกิดขึ้นได้จากประสบการณ์หรือพฤติกรรมในอดีตเป็นสำคัญ นอกจากนี้การส่งอิทธิพลของปัจจัยที่เป็นตัวแปรต้นไปยังความประสงค์ที่จะปรับพฤติกรรม (DES) และการส่งอิทธิพลจากความประสงค์ที่จะปรับพฤติกรรมไปยังเจตนาที่จะแสดงพฤติกรรม (INT) มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองที่วิเคราะห์โดยจำแนกตามเพศ

สิ่งที่แตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างแบบจำลองกลุ่มไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง คือ ปัจจัยทัศนคติ (Attitudes) ที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน ซึ่งพบว่าเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญเฉพาะในแบบจำลองของกลุ่มมียอดยนต์ในครอบครองเท่านั้น โดยเมื่อพิจารณาค่าอิทธิพลของตัวแปรองค์ประกอบในกลุ่มปัจจัยทัศนคติที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบ (PCA) ดังแสดงในตารางที่ 6 พบว่ามีตัวแปรองค์ประกอบที่เชื่อมโยงไปยังประเด็นที่มีอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน ดังแสดงในตารางที่ 13

จากผลลัพธ์ดังกล่าว พบว่ามีความสมเหตุสมผลในข้อเท็จจริง เนื่องจากกลุ่มที่มีรถยนต์ในครอบครอง จะมีโอกาสเดินทางโดยใช้รถยนต์มากกว่ากลุ่มที่ไม่มีรถยนต์ในครอบครอง ด้วยเหตุนี้ การตระหนักและรับรู้ถึงผลกระทบในประเด็นที่เกี่ยวข้องตามที่กล่าวข้างต้น ย่อมมีมากกว่ากลุ่มที่ไม่มีรถยนต์ในครอบครอง ความเข้าใจและตระหนัก

ถึงปัญหาดังกล่าว อาจเป็นปัจจัยที่ทำให้คนกลุ่มนี้ มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนมาใช้จักรยานได้ในอนาคต มากกว่ากลุ่มที่ไม่มีรถยนต์และไม่ใช้รถยนต์ในการเดินทาง สำหรับปัจจัยอื่นที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน อย่างมีนัยสำคัญ มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งกลุ่มไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง ดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ตัวแปรในกลุ่มปัจจัยทัศนคติของแบบจำลองกลุ่มมียอดยนต์ในครอบครองที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน (DES)

ประเด็นที่ตรวจสอบทัศนคติ	ตัวแปร	ค่าอิทธิพล
ความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับสังคม	D1.2	0.929
ความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมระดับบุคคล	D2.2	0.954
ผู้บริหารท้องถิ่นและชุมชน คือผู้รับผิดชอบต่อปัญหา	D3.2	0.950
การให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมในชุมชน	D4.2	0.939
มีความเข้าใจถึงผลที่ตามมาว่า การใช้จักรยานช่วยลดมลภาวะทางเสียง	D6.3	0.959
การยอมรับการใช้จักรยาน ถ้ามีการพัฒนาและปรับปรุงด้านกายภาพให้ส่งเสริมการใช้จักรยาน	D8.2	0.941

ตารางที่ 14 ตัวแปรในกลุ่มปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน (DES) ของแบบจำลองกลุ่มไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง

ประเด็นที่ตรวจสอบทัศนคติ	ตัวแปร	ค่าอิทธิพล
บรรทัดฐานของบุคคลที่มีต่อการใช้จักรยาน (SN)		
กลุ่มไม่มี: ถ้าบุคคลใกล้ชิด อาทิ เพื่อนสนิท เพื่อนร่วมงาน ฯลฯ ใช้จักรยาน จะมีอิทธิพลให้กลุ่มเป้าหมายใช้จักรยานด้วยเช่นกัน	D9.3	0.963
กลุ่มมี: ถ้าบุคคลใกล้ชิด อาทิ เพื่อนสนิท เพื่อนร่วมงาน ฯลฯ ใช้จักรยาน จะมีอิทธิพลให้กลุ่มเป้าหมายใช้จักรยานด้วยเช่นกัน	D9.3	0.974
การรับรู้ถึงความยากง่ายในการใช้จักรยาน (PBC)		
กลุ่มไม่มี: เข้าใจถึงความยากลำบากในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D10.1	0.955
กลุ่มมี: เข้าใจถึงการให้ความพยายามอย่างมากในการเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D10.2	0.960
ความรู้สึกเชิงบวกที่มีต่อการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน (PAE)		
กลุ่มไม่มี: ความรู้สึกภาคภูมิใจถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D11.2	0.978
กลุ่มมี: ความรู้สึกภาคภูมิใจถ้าเปลี่ยนไปใช้จักรยาน	D11.2	0.984

แม้ว่าการส่งอิทธิพลของปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 9,10 สำหรับการวิเคราะห์โดยจำแนกตามเพศของกลุ่มตัวอย่าง และในตารางที่ 13,14 สำหรับการวิเคราะห์โดยจำแนกตามการไม่มีและมียอดยนต์ในครอบครอง จะไม่ได้นำไปสู่กระบวนการ

แสดงพฤติกรรมตามหลักเหตุผล แต่ผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ทำให้ทราบประเด็นที่มีนัยสำคัญที่ส่งอิทธิพลต่อความประสงค์ที่จะใช้จักรยาน ซึ่งเป็นเหตุปัจจัยเบื้องต้นของเจตนาที่จะใช้จักรยาน โดยผลการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถนำมา

ประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแนวทางปรับปรุงด้านกายภาพ สิ่งอำนวยความสะดวก และเชื่อมโยงไปยังแผนเชิงบูรณาการสำหรับขับเคลื่อนโครงการสนับสนุนการใช้จักรยานในชีวิตประจำวันได้ในอนาคต

6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. การวิเคราะห์โดยจำแนกตามเพศ

การวิเคราะห์โดยจำแนกกลุ่มตัวอย่างตามคุณลักษณะทางเพศ เป็นการแสดงให้เห็นความเหมือนและความแตกต่างในการตัดสินใจและปรับพฤติกรรม อันเนื่องมาจากความแตกต่างกันของคุณลักษณะกายภาพทางร่างกายของบุคคล อันเนื่องมาจากการกำหนดตามธรรมชาติ

จากผลการวิเคราะห์ พบว่า กระบวนการคิดเชิงเหตุผลที่เริ่มต้นจากความประสงค์ เจตนา และความพยายามที่จะใช้จักรยาน ไม่ส่งผลต่อการปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานของเพศหญิง โดยเพศหญิงจะใช้จักรยานอันเป็นผลจากอิทธิพลของพฤติกรรมในอดีต (PSB) และการรับรู้ถึงความยากง่ายในการใช้จักรยาน (PBC) ซึ่งเป็นกลุ่มตัวแปรแฝงที่บ่งบอกให้ทราบว่า กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง รับรู้ถึงความยากลำบากในการเปลี่ยนไปใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน แต่การปรับพฤติกรรมเปลี่ยนไปใช้จักรยาน จะเกิดขึ้นได้ถ้าเป็นไปตามกระบวนการแสดงพฤติกรรมแบบอัตโนมัติที่ไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Verplanken and Aarts [24] และ Ouellette and Wood [35]

สำหรับผลการวิเคราะห์ของกลุ่มเพศชาย การเปลี่ยนไปใช้จักรยานโดยผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล ส่งผลในทางตรงข้ามกับความพยายามที่จะเปลี่ยนไปใช้จักรยาน ซึ่งอาจเป็นผลจากการพิจารณาตามความเป็นจริงที่พบว่า การเปลี่ยนไปใช้จักรยานในชีวิตประจำวันนั้น เป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ การปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานทั้งในเพศชายและเพศหญิง จะเกิดขึ้นได้จากการแสดงพฤติกรรมหรือการปรับพฤติกรรมที่ไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล ในลักษณะของพฤติกรรมที่เกิดขึ้นอย่างอัตโนมัติ ซึ่งเป็นผลมาจากประสบการณ์ในอดีต ซึ่งสอดคล้องกับ Gärting and Axhausen [36] ที่กล่าวว่า การที่จะควบคุมหรือยับยั้งพฤติกรรมเคยชินนั้น สามารถทำได้ด้วยการทำให้พฤติกรรมของบุคคลเป็นการแสดงออกผ่าน

กระบวนการตัดสินใจโดยใช้การคิดอย่างมีเหตุผล ดังนั้นในทางตรงข้าม การแสดงพฤติกรรมโดยได้รับอิทธิพลจากพฤติกรรมในอดีตและเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ก็คือพฤติกรรมที่ไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผลนั่นเอง

ผลการศึกษาดังกล่าวสอดคล้องกับข้อเท็จจริงในปัจจุบันที่พบว่า การใช้จักรยานของเพศชายและเพศหญิงในเขตเมืองจังหวัดชลบุรี เป็นการใช้เพื่อการออกกำลังกาย และสันทนาการเป็นหลัก ซึ่งเป็นการใช้จักรยานเพื่อตอบสนองความพึงพอใจส่วนบุคคล และไม่ได้ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผลที่คำนึงถึงเหตุปัจจัยเชิงการใช้งาน หรือความตระหนักถึงประโยชน์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อม การลดมลพิษ ลดการใช้พลังงาน หรือด้านเศรษฐกิจ แต่อย่างใด

ด้วยเหตุนี้ จากผลการวิจัยดังกล่าว การทำให้เกิดพลวัตของการใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน อาจทำได้โดยการสร้างมวลหมู่วิกฤติ (Critical Mass) [37] ของผู้ใช้จักรยาน โดยอาจเริ่มจากการใช้จักรยานในกิจกรรมเชิงสันทนาการ การท่องเที่ยว และกีฬา เพื่อทำให้เกิดกลุ่มก้อนของการใช้จักรยาน และเกิดเป็นพฤติกรรมเคยชิน (Habitual behavior) จนนำไปสู่แนวโน้มของการปรับใช้ในชีวิตประจำวันในอนาคต [38] ซึ่งผู้ใช้จักรยานจะไม่คำนึงถึงปัจจัยเชิงเหตุผลและอุปสรรค แต่จะใช้เพราะความพึงพอใจและความชอบส่วนตัวเป็นสำคัญ จนถึงจุดหนึ่งในสังคมมีการใช้จักรยานเพิ่มขึ้น กระบวนการปรับพฤติกรรมโดยผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล ที่เริ่มจากการพิจารณาประโยชน์ที่ได้ในด้านต่าง ๆ ต่อตนเองและสังคม และส่งผลต่อความประสงค์ เจตนา และการปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยาน ก็จะถูกพัฒนาขึ้นตามมา

6.2. การวิเคราะห์โดยจำแนกตามการมีรถยนต์ในครอบครอง

การวิเคราะห์โดยจำแนกตามการมีรถยนต์ในครอบครอง เป็นการพิจารณาการตัดสินใจและการปรับพฤติกรรมอันเนื่องมาจากความต่างกันของโอกาสและสถานะทางเศรษฐกิจของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่เกิดจากการพัฒนาและสร้างขึ้นมาจากบุคคล ไม่ได้เกิดจากการกำหนดของธรรมชาติ

จากผลการวิเคราะห์ เจตนาในการปรับพฤติกรรมไปใช้จักรยานในชีวิตประจำวันของผู้ที่ไม่มีรถยนต์ในครอบครอง ส่งผลในทางตรงข้ามกับความพยายามที่จะปรับพฤติกรรมไป

ใช้จักรยานในอนาคต อาจกล่าวได้ว่า การใช้จักรยานของกลุ่มไม่มีรถยนต์ในครอบครอง ถ้าผ่านกระบวนการคิดแบบมีเหตุผล อาจทำให้เกิดผลในทางตรงข้าม นั่นคือการปฏิเสธที่จะใช้จักรยานไปเลย เนื่องจากพบว่าในความเป็นจริง มีความเป็นไปได้ยากที่จะเดินทางโดยใช้จักรยานในชีวิตประจำวัน นั่นคือ แม้ว่าคนกลุ่มนี้จะไม่มียานยนต์ แต่ถ้าต้องการเดินทางก็จะเลือกรูปแบบการเดินทางอื่นแทนการใช้จักรยานอยู่ดี เช่นเดียวกับกลุ่มคนที่มียานยนต์ในครอบครอง ที่กระบวนการคิดอย่างมีเหตุผลไม่ส่งผลต่อการใช้จักรยานหรือการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมไปใช้จักรยานในอนาคตแต่อย่างใด

ด้วยเหตุนี้ การใช้จักรยานของคนทั้งสองกลุ่มนี้จะเป็นไปได้โดยไม่ผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล นั่นคือการใช้จักรยานเป็นไปเพื่อตอบสนองตามความพึงพอใจ ที่ตอบสนองด้านสันตนาการ การออกกำลังกาย และการท่องเที่ยว ฯลฯ โดยไม่ได้ใช้ในการเดินทางที่เป็นกิจกรรมหลัก หรือกิจกรรมที่จักรยานควรตอบสนองการใช้งานได้ ในฐานะที่เป็นการขนส่งรูปแบบหลัก อย่างไรก็ดี ในกลุ่มที่มีรถยนต์ในครอบครอง มีโอกาสที่จะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการเดินทางไปใช้จักรยานได้ในอนาคต ถ้ามีการพัฒนาประเด็นในกลุ่มปัจจัยทัศนคติ เพื่อให้เกิดกระบวนการแสดงพฤติกรรมโดยผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล ดังได้กล่าวไปแล้วในผลการวิเคราะห์ข้างต้น

6.3.ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

จากผลการศึกษาที่จำแนกการวิเคราะห์ตามเพศ (เงื่อนไขทางธรรมชาติ) และการมีรถยนต์ในครอบครอง (เงื่อนไขทางเศรษฐกิจ) พบว่า การจะทำให้กลุ่มเป้าหมายเปลี่ยนมาใช้จักรยานในชีวิตประจำวันนั้น ถ้าดำเนินการผ่านกระบวนการคิดเชิงเหตุผล หรือให้เกิดการคิด พิจารณาถึงประโยชน์ด้านต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อตนเองและสังคม อาทิ ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ มลพิษทางอากาศ อุบัติเหตุ ฯลฯ อาจเป็นการยากที่จะทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมไปใช้จักรยานในชีวิตประจำวันของกลุ่มเป้าหมาย ความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ คือการใช้กระบวนการทางสังคม การสร้างมวลหมู่วิกฤติ (Critical Mass) ของการใช้จักรยานให้เกิดขึ้น และในช่วงเริ่มต้น อาจต้องเป็นกลุ่มการใช้จักรยานเพื่อการสันตนาการ การออกกำลังกาย การพักผ่อน และท่องเที่ยว จึง

จะทำให้เกิดพลวัตของการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมมาใช้จักรยานได้ จนเมื่อเกิดพฤติกรรมต่อเนื่องและเคยชิน จนสามารถปรับบริบทของการใช้จักรยานให้กลมกลืนกับการเดินทางในชีวิตประจำวันแล้ว การใช้งานเพื่อกิจวัตรประจำวันต่าง ๆ ก็อาจเกิดขึ้นได้ในขั้นต่อไป แต่ทั้งนี้จำเป็นต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดกระบวนการสร้างประสบการณ์ในอดีต (Past Behavior) จนเกิดเป็นพฤติกรรมเคยชิน (Habitual Behavior) และนำไปสู่กระบวนการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการเดินทางและส่งผลอย่างเป็นรูปธรรมในที่สุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทีมงานและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ช่วยให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จด้วยดี และขอขอบพระคุณประชาชนในพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย อำเภอเมืองชลบุรี ศรีราชา และบางละมุง ที่อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Strategic and Information for Provincial Development Section, "A Study for Developing Implementation and Action Plans for Sustainable Improving and Reducing Transport Problems Under Eastern Development Master Plans (Final Report)," Chonburi Provincial Office, Chonburi, Thailand, 2018.
- [2] I. J. Hendriksen, B. Zuiderveld, H. C. Kemper and P. D. Bezemer, "Effect of Commuter Cycling on Physical Performance of Male and Female Employees," *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 32, no. 2, pp. 504–510, 2000, doi: 10.1097/00005768-200002000-00037.
- [3] I. Vuori, P. Oja and O. Paronen, "Physically Active Commuting to Work-Testing Its Potential for Exercise Promotion," *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 26, no. 7, pp. 844–850, 1994, doi: 10.1249/00005768-199407000-00006.
- [4] B. E. Saelens, J. F. Sallis and L. D. Frank, "Environmental Correlates of Walking and Cycling: Findings from the Transportation, Urban Design, and Planning Literatures,"

- Annals of Behavioral Medicine*, vol. 25, no. 2, pp. 80–91, 2003, doi: 10.1207/S15324796ABM2502_03.
- [5] K. Nordback, “Measuring Traffic Reduction from Bicycle Commuting,” *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2468, no. 1, pp. 92–99, 2014, doi: 10.3141/2468-11.
- [6] E. Heinen and W. Bohte, “Multimodal Commuting to Work by Public Transport and Bicycle,” *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2468, no. 1, pp. 111–122, 2014, doi: 10.3141/2468-13.
- [7] COYA, “Global Bicycle Cities Index 2019.” coya.com. <https://www.coya.com/bike/index-2019>. (Accessed Sep. 15, 2021).
- [8] Thailand Walking and Cycling Institute Foundation, “Why Cycling are Unpopular for Thai People,” Aug. 29, 2018. Accessed: Sep. 15, 2021 [Online]. Available: <http://www.ibikeiwalk.org/media-publication/infographic/2018/08/29/ทำไมคนไทยไม่นิยมใช้จัก/>.
- [9] T. Litman, “Evaluating Non-Motorized Transportation Benefits and Costs,” Victoria Transport Policy Institute, Victoria, British Columbia, Canada, 2012.
- [10] M. Winters, G. Davidson, D. Kao and K. Teschke, “Motivators and deterrents of bicycling: comparing influences on decisions to ride,” *Transportation*, vol. 38, pp. 153–168, 2011, doi: 10.1007/s11116-010-9284-y.
- [11] L. H. Engbers and I. J. M. Hendriksen, “Characteristics of a Population of Commuter Cyclists in the Netherlands: Perceived Barriers and Facilitators in the Personal, Social and Physical Environment,” *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 2010, doi: 10.1186/1479-5868-7-89.
- [12] J. Phala and M. Bejrananda, “An Investigation of Cycling Behavior for Bike Use Policy in Khon Kaen City,” *Academic Journal: Faculty of Architecture Khon Kaen University*, vol. 15, no. 2, 2016.
- [13] U. Raha, “Factors Influencing to Success in Promotion of Cycling Use in Bangkok,” M.Eng. Thesis, Dept. of Civil Eng., King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Bangkok, 2010.
- [14] Z. B. Li, W. Wang, C. Yang and D. R. Ragland, “Bicycle Commuting Market Analysis Using Attitudinal Market Segmentation Approach,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 47, pp. 56–68, 2013, doi: 10.1016/j.tra.2012.10.017.
- [15] M. A. Stinson and C. R. Bhat, “A Comparison of the Route Preferences of Experienced and Inexperienced Bicycle Commuters,” in *The TRB 84th Annual Meeting Compendium of Papers CD-ROM*, Washington, DC, January 9–13, 2005.
- [16] S. Piriawat and C. Intanu, “Past Behavior, Attitudes, Subjective Norm and Positive Anticipated Emotions as Determinants of Using Bicycle in Daily Life: Bangkok District, Chachoengsao Case Study,” in *The 23rd National Convention on Civil Engineering*, Nakhon Nayok, Thailand, July 18–20, 2018.
- [17] C. Intanu and S. Piriawat, “Explaining the Trying to Travel by Bicycling Using the Model of Goal Directed Behavior on Traveller’s Gender and Car Ownership Characteristics in Chonburi Urban Areas”, in *The 26th National Convention on Civil Engineering*, Online Conference, Thailand, June 23–25, 2021.
- [18] I. Ajzen, “From Intention to Actions: A Theory of Planned Behavior,” in *Action Control: From Cognition to Behavior*, J. Kuhl and J. Bechmann Editor, Heidelberg, Germany, 1985, pp. 11–39.
- [19] I. Ajzen, “Theory of Planned behavior,” *Organization Behavior and Human Decision Processes*, vol. 50, no. 2 pp. 179–211, 1991, doi: 10.1016/0749-5978(91)90020-T.
- [20] I. Ajzen, “Explaining Intentions and Behavior,” in *Attitudes, Personality and Behavior*, T. Manstead Editor, 2nd Ed., Berkshire, England: Open University Press, 2005, pp. 117–141.

- [21] M. Perugini and R. P. Bagozzi, "The Role of Desires and Anticipated Emotions in Goal-Directed Behaviours: Broadening and Deepening the Theory of Planned Behaviour," *British Journal of Social Psychology*, vol. 40, no. 1, pp. 79–98, 2001, doi: 10.1348/014466601164704.
- [22] R. P. Bagozzi, "The Self-Regulation of Attitudes, Intentions, and Behavior," *Social Psychology Quarterly*, vol. 55, no. 2, pp.178–204, 1992.
- [23] R. P. Bagozzi, "On the Neglect of Volition in Consumer Research: A Critique and a Proposal," *Psychology & Marketing*, vol. 10, no. 3, pp. 215–237, 1993, doi: 10.1002/mar.4220100305.
- [24] B. Verplanken and H. Aarts, "Habit, Attitudes, and Planned Behaviour: Is Habit an Empty Construct or an Interesting Case of Goal-Directed Automaticity?," *European Review of Social Psychology*, vol. 10, pp. 101–134, 1999, doi: 10.1080/14792779943000035.
- [25] J.A. Bargh, "Automaticity in Social Psychology," in *Social Psychology: Handbook of Basic Principles*, P. A. M. Van Lange, E. T. Higgins and A. W. Kruglanski Editors, 3rd Ed., New York, NY, USA: The Guilford Press, 1996, pp. 169–183.
- [26] T. Gärling and K. W. Axhausen, "Introduction: Habitual Travel Choice," *Transportation*, vol. 30, pp. 1–11, 2003, doi: 10.1023/A:1021230223001.
- [27] Chonburi Provincial Statistical Office, "Chonburi Provincial Statistical Report 2019," Chonburi Provincial Statistical Office, Chonburi, Thailand, Accessed: Aug. 20, 2020 [Online]. Available: http://chonburi.nso.go.th/%20%20index.php?option=com_content&view=article&id=440:16-3-63&catid=102&Itemid=507.
- [28] S. Kanjanawasee, "Sampling Theory," in *Applied Statistics for Behavioral Research*, 5th Ed., Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Printing House, 2007, pp. 129–162.
- [29] A. C. Lusk, X. Wen and L. Zhou, "Gender and Used/Preferred Differences of Bicycle Routes, Parking, Intersection Signals, and Bicycle Type: Professional Middle Class Preferences in Hangzhou, China," *Journal of Transport & Health*, vol 1, no. 2, pp. 124–133. 2014, doi: 10.1016/j.jth.2014.04.001.
- [30] K. C. Heesch, S. Sahlqvist and J. Garrard, "Gender Differences in Recreational and Transport Cycling: a Cross-Sectional Mixed-Methods Comparison of Cycling Patterns, Motivators, and Constrains," *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, vol. 9, no. 1, Sep, 2012, Art. no. 106 (2012), doi: 10.1186/1479-5868-9-106.
- [31] C.R. Emond, W. Tang and S.L. Handy, "Explaining Gender Difference in Bicycling Behavior," *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2125, no.1, pp. 16–25, 2009, doi: 10.3141/2125-03.
- [32] L. Steg, "Can Public Transport Compete with the Private Car?," *IATSS Research*, vol. 27, no. 2, pp. 27–35, 2003, doi: 10.1016/S0386-1112(14)60141-2.
- [33] R. B. Kline, "Structural Models with Observed Variables and Path Analysis: I. Fundamentals, Recursive Models," in *Principles and Practice of Structural Equation Modelling*, D.A. Kenny Editor, New York, NY, USA: The Guilford Press, 1998, pp. 95–154.
- [34] L. Hu and P. M. Bentler, "Cutoff Criteria for Fit indexes in Covariance Structure Analysis: Conventional Criteria Versus New Alternatives," *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, vol. 6, no. 1, pp.1–55, 1999, doi: 10.1080/10705519909540118.
- [35] J. A. Ouellette and W. Wood, "Habit and Intention in Everyday Life: The Multiple Processes by Which Past Behaviour Predicts Future Behaviour," *Psychological Bulletin*, vol. 124, no. 1, pp. 54–74, 1998.

- [36] T. Gärling and K.W. Axhausen, "Introduction: Habitual Travel Choice," *Transportation*, vol. 30, pp. 1–11, 2003, doi: 10.1023/A:1021230223001.
- [37] P. Oliver, G. Maxwell and R. Teixeira, "A Theory of the Critical Mass. I. Interdependence, Group Heterogeneity, and the Production of Collective Action," *The American Journal of Sociology*, vol. 91, no. 3, pp. 522–556.
- [38] D. L. Ronis, J. F. Yates and J. P. Kirscht, "Attitudes, Decisions and Habits as Determinants of Repeated Behavior," In *Attitudes Structure and Function*, A. R. Pratkanis, S. J. Breckler and A. G. Greenwald Editors, Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1989, pp. 213–239.

การศึกษาปัจจัยของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานของ บริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทยโดยใช้โมเดลสมการโครงสร้าง

A Study of Factors of Human Resource Management Influencing the Performance of Thai Infrastructure Contractors Using Structural Equation Modeling

ชนาธิป ควภาพงษ์^{1,*} และ นคร กกแก้ว¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วังใหม่ ปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

Chanatip Kawapapong^{1,*} and Nakhon Kokkaew¹

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Wangmai, Pathumwan,
Bangkok, 10330, Thailand

*Corresponding Author E-mail: chanatip.ce@gmail.com

Received: Jul 16, 2021 Revised: Sep 12, 2021 Accepted: Sep 14, 2021

บทคัดย่อ

เนื่องจากสภาวะการแข่งขันที่สูงขึ้นของอุตสาหกรรมก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทยในปัจจุบัน การสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันโดยใช้เงินทุน และเครื่องจักรอาจไม่เพียงพอ สิ่งใหม่ที่สามารถทำได้เพื่อรักษาความได้เปรียบในการแข่งขันคือการนำแนวคิดของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ (Human Resource Management) มาปรับใช้ให้เกิดประโยชน์ ดังนั้น บทความนี้จึงต้องการศึกษาถึงปัจจัยสำคัญของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ 4 ด้าน ได้แก่ การสรรหาและคัดเลือก การฝึกอบรมและพัฒนา ผลตอบแทน และการประเมินผลการปฏิบัติงาน ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลการดำเนินงานตามแนวคิด Balanced Scorecard (BSC) ของบริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทย โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง (SEM) เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากวิศวกรจำนวน 203 คน จาก 67 องค์กร พบว่า การจัดการทรัพยากรมนุษย์มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานขององค์กรในระดับที่ค่อนข้างสูง (Correlation Coefficient = 0.88) และปัจจัยด้านการสรรหาและคัดเลือกมีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงสุด (Regression Weight = 28.33%) โดยบริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานของไทยสามารถนำผลการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพขององค์กรผ่านกระบวนการจัดการทรัพยากรมนุษย์ต่อไป

คำสำคัญ: การจัดการทรัพยากรมนุษย์, ผลการดำเนินงานของบริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน, โมเดลสมการโครงสร้าง, การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน

Abstract

Due to the intense competition in the Thai infrastructure construction industry, the conventional advantage of construction firms using capital and machinery may be outdated. One thing that Thai construction firms can do to increase their competitive advantage and organizational performance in the future may depend on the better use of human resource management (HRM). Therefore, this article aims at studying four key human resource management factors (i.e., recruitment and selection, training and development, compensation, and performance appraisal) that could be used to help increase construction firms' performance measured using Balanced Scorecard (BSC). This study uses structural equation modeling (SEM) to analyze the data set collected

from 203 engineers of 67 firms. The results found that HRM indeed had high influence on firms' performance (correlation coefficient = 0.88). In addition, among the four HRM factors, recruitment and selection was found to have the highest regression weight (regression weight = 28.33%). Finally, the results of this study may be used by Thai infrastructure construction firms for improving their operational and organizational-level performance through HRM.

Keywords: Human Resource Management, Performance of Thai Infrastructure Contractors, Structural Equation Model, Confirmatory Factor Analysis

1. บทนำ

ในปัจจุบันสถานะการแข่งขันของงานก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่มีการแข่งขันที่สูงขึ้นเนื่องจากการประมูลของภาครัฐที่เปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการธุรกิจก่อสร้างจากต่างประเทศสามารถเข้าร่วมแข่งขันได้มากขึ้น ทำให้บริษัทผู้รับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทยเริ่มตื่นตัว เตรียมพร้อม และหาแนวทางในการเพิ่มขีดความสามารถเพื่อให้สามารถแข่งขันกับบริษัทก่อสร้างต่างชาติได้ในระยะยาว ซึ่งในช่วงหลายสิบปีที่ผ่านมาเงินทุนและเครื่องจักรก่อสร้างถือเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันของบริษัทก่อสร้าง แต่ในปัจจุบันการเข้าถึงแหล่งเงินทุนที่ง่ายขึ้นและราคาเครื่องจักรที่สามารถครอบครองได้ ทำให้การสร้างความได้เปรียบโดยปัจจัยดังกล่าวอาจทำได้อย่างจำกัด ดังนั้น สิ่งหนึ่งที่สามารถเสริมสร้างความได้เปรียบดังกล่าวให้แก่องค์กรก็คือ “บุคลากร” ซึ่งมีส่วนสำคัญที่จะขับเคลื่อนองค์กรให้เจริญก้าวหน้า

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อการดำเนินงานขององค์กรในหลากหลายประเทศ และหลากหลายกลุ่มอุตสาหกรรมรวมทั้งในอุตสาหกรรมก่อสร้าง แต่ยังไม่พบงานวิจัยใดที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัยทั้งสองกลุ่มนี้ในประเทศไทย โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในประเทศไทย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการทรัพยากรมนุษย์และผลการดำเนินงานของบริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทย เพื่อให้บริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานของไทยได้ทราบถึงความสำคัญและแนวทางของ

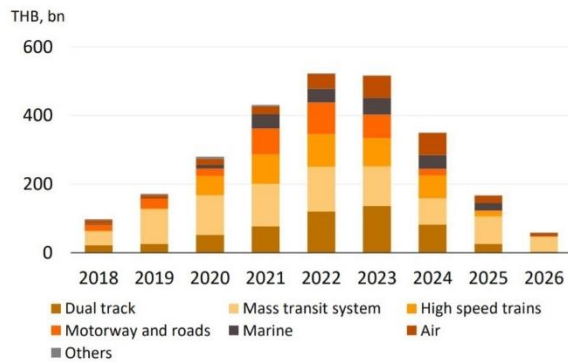
การบริหารจัดการทรัพยากรมนุษย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในปฏิบัติงาน และเพื่อสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับองค์กร ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการแข่งขันในยุคปัจจุบัน

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. อุตสาหกรรมก่อสร้างไทย

ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างเป็นหนึ่งในธุรกิจที่ได้รับความนิยมอย่างมาก โดยสังเกตได้จากการมีผู้ประกอบการในธุรกิจรับเหมาก่อสร้างเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการแข่งขันกันอย่างรุนแรง โดยลักษณะทั่วไปของธุรกิจรับเหมาก่อสร้างก็มีทั้งส่วนที่คล้ายคลึง และส่วนที่แตกต่างจากธุรกิจอื่น ๆ เช่น เป็นงานที่ต้องใช้บุคลากรหลายประเภทและหลายระดับ รวมทั้งต้องใช้ช่างฝีมือและคนงานเป็นจำนวนมาก การโยกย้ายเข้าออกงานเกิดขึ้นได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งธุรกิจก่อสร้างยังเป็นธุรกิจที่มีการเปลี่ยนสถานที่ทำงานไปเรื่อย ๆ เมื่อเสร็จโครงการหนึ่งก็ย้ายไปอีกโครงการหนึ่ง ทำให้ต้องขนย้ายทรัพยากรต่าง ๆ เช่น วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือเครื่องจักร รวมทั้งบุคลากรไปด้วยเสมอ [1–2] ดังนั้นการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่เหมาะสมจึงถือว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง

จากงานวิจัยของ Krungsri Research [3] พบว่า งานก่อสร้างของภาครัฐของประเทศไทยในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา และอีก 5–10 ปีข้างหน้า ส่วนใหญ่เป็นการลงทุนก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานในสัดส่วนที่มากถึงร้อยละ 80 ของมูลค่างานก่อสร้างภาครัฐทั้งหมด โดยมีงบลงทุนจากปี พ.ศ. 2564–2569 (ค.ศ. 2021–2026) อีกกว่า 2 ล้านล้านบาท ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนการลงทุนของภาครัฐ ณ ปี พ.ศ. 2562 [3]

2.2.การจัดการทรัพยากรมนุษย์ (Human resource management)

การจัดการทรัพยากรมนุษย์ คือ กระบวนการจัดการให้ ได้มาซึ่งบุคลากรหรือพนักงานที่มีความรู้ ความสามารถเข้ามา ปฏิบัติงาน โดยใช้วิธีการและขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อสรรหา คัดเลือก พัฒนา ประเมินผล รวมถึงการดูแลรักษาบุคลากร ผ่านการให้รางวัล ค่าตอบแทน และสิทธิประโยชน์ต่าง ๆ แก่ พนักงาน เพื่อสร้างและพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ขององค์กรให้เป็นทรัพยากรบุคคลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งส่งผลสำเร็จ ตามเป้าหมายและวัตถุประสงค์ขององค์กร [4-6] จากงานวิจัย ในอดีตที่ผ่านมา พบว่าปัจจัยที่สำคัญของการจัดการทรัพยากร มนุษย์ ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร มีทั้งสิ้น 8 ปัจจัย อย่างไรก็ตาม การศึกษาให้ครบทั้ง 8 ปัจจัยเป็นไปได้ยากเนื่องจากมีตัวแปรที่ต้องศึกษาจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึง เลือกศึกษาเฉพาะปัจจัยสำคัญที่ได้รับการศึกษามาแล้วว่า ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กรในอุตสาหกรรม ก่อสร้าง และมีการศึกษาในประเทศไทยมาแล้วบางส่วน [7-10] โดยการศึกษาได้คัดเลือก 4 ปัจจัยในการจัดการ ทรัพยากรมนุษย์ ได้แก่

1. การสรรหาและคัดเลือก
2. การฝึกอบรมและพัฒนา
3. ผลตอบแทน
4. การประเมินผลการปฏิบัติงาน

2.3.การวัดผลการดำเนินงานขององค์กร (Organizational performance)

ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้การวัดผลการดำเนินงานของ องค์กรตามแนวคิด Balanced Scorecard (BSC) โดย

Kaplan & Norton [11] ซึ่งเป็นการพิจารณากระบวนการ ทำงานขององค์กรจากมุมมองทั้ง 4 ด้าน คือ

1. มุมมองด้านการเงิน
2. มุมมองด้านลูกค้า
3. มุมมองด้านกระบวนการปฏิบัติงานภายในองค์กร
4. มุมมองด้านการเรียนรู้และการเติบโต

ในอดีตที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ไม่ได้นำ มุมมองด้านการเงินมาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง การจัดการทรัพยากรมนุษย์และผลการดำเนินงานขององค์กร ทั้งนี้เนื่องจากผลการดำเนินงานด้านการเงินอาจจะได้รับ อิทธิพลจากการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ล่าช้าเป็นระยะ เวลานานกว่าด้านอื่นๆ [7] ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงผู้วิจัยจึง กำหนดขอบเขตการศึกษาผลการดำเนินงานเฉพาะมุมมองที่ ไม่ใช้การเงิน นั่นคือ 1) มุมมองด้านลูกค้า 2) มุมมองด้าน กระบวนการปฏิบัติงานภายในองค์กร และ 3) มุมมองด้าน การเรียนรู้และการเติบโต

2.4. การศึกษาความสัมพันธ์ของจัดการทรัพยากรมนุษย์ และ ผลการดำเนินงานขององค์กร

ที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพล ของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงาน ขององค์กร ซึ่งคล้ายคลึงกับกรอบแนวคิดในงานวิจัยนี้ ตัวอย่างเช่น

Huselid [8] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการ ทรัพยากรมนุษย์กับผลการดำเนินงานขององค์กร พบว่า การจัดการทรัพยากรมนุษย์จะส่งผลในด้านบวกต่อ กระบวนการภายในและผลประกอบการด้านการเงินของ องค์กร

Akhtar et al. [9] ได้ศึกษาผลกระทบของการจัดการ ทรัพยากรมนุษย์ที่มีผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร พบว่า การฝึกอบรม, การมีส่วนร่วม, การประเมินผลการ ปฏิบัติงาน, การโยกย้ายภายในมีผลต่อผลการดำเนินงาน ขององค์กรทั้งในด้านการเงิน และด้านกระบวนการภายใน อย่างมีนัยสำคัญ ความมั่นคงในการทำงาน และการ ออกแบบงานมีผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กรในด้าน กระบวนการภายในเพียงด้านเดียว และผลตอบแทนมีผลต่อ ผลการดำเนินงานทางด้านการเงินเท่านั้น

Abdallat et al. [10] ศึกษาผลกระทบของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ต่อผลการดำเนินงานของบริษัทในอุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศจอร์แดน พบว่า การจัดการทรัพยากรมนุษย์มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการดำเนินงานขององค์กร นอกจากนี้การฝึกอบรม และการประเมินผลการปฏิบัติงานมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการดำเนินงานขององค์กร ในขณะที่การสรรหาและคัดเลือก และผลตอบแทนไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ

Gurbuz & Mert [12] ได้ศึกษาผลกระทบของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กรทั้ง 4 ด้านตามแนวคิด Balanced scorecard (BSC) ของ Kaplan and Norton พบว่า การจัดการทรัพยากรมนุษย์มีผลกระทบโดยตรงและมีอิทธิพลในทางบวกต่อผลการดำเนินงานทั้ง 4 ด้าน

นอกจากนี้ยังมีนักวิชาการอีกหลายท่านที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการจัดการทรัพยากรมนุษย์กับผลการดำเนินงานขององค์กร เช่น [13–16] ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าทุกงานวิจัยให้ผลไปในทางเดียวกัน นั่นคือการจัดการทรัพยากรมนุษย์ส่งผลทางบวกต่อผลการดำเนินงานขององค์กร

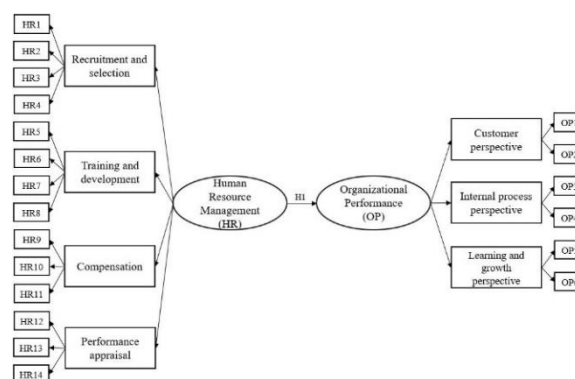
3. โมเดลสมการโครงสร้าง (Structural Equation Modeling, SEM)

โมเดลสมการโครงสร้างเป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับงานวิจัยที่ศึกษาโมเดลความสัมพันธ์เชิงสาเหตุระหว่างตัวแปรแฝง (Latent Variables) กับตัวแปรสังเกตได้ (Observed Variables) โดยทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของโมเดลพร้อมกันทั้งหมดด้วยระบบสมการ (Simultaneous Equation) และ SEM ยังเป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่มีกรอบแนวคิดในการวิจัย และมีทฤษฎีรองรับเป็นอย่างดี เพื่อตัดสินใจว่าโมเดลที่สร้างขึ้นจากการทบทวนแนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง หรือเรียกกระบวนการนี้ว่าการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis, CFA) นอกจากนี้ SEM ยังสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้พร้อมกันทั้งโมเดลแม้จะมีตัวแปรแฝงหลายตัว อีกทั้งการแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล (output) จะแสดงทั้งในส่วนที่เป็นข้อความ และแผนภาพประกอบทำ

ให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ [17] ทำให้ SEM จึงเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้

4. กรอบแนวคิดและระเบียบวิธีการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ ซึ่งใช้วิธีการวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการวิจัย เพื่อวัดระดับความคิดเห็นในการบริหารจัดการทรัพยากรมนุษย์ และผลการดำเนินงานขององค์กร โดยมีกรอบแนวคิดของงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

จากกรอบแนวคิดของงานวิจัยในรูปที่ 2 ตัวแปร HR1–HR14 และ OP1–OP6 เป็นข้อคำถามในแต่ละกลุ่มปัจจัยของการจัดการทรัพยากรมนุษย์และการวัดผลการดำเนินงานขององค์กร โดยมีรายละเอียดข้อคำถามดังนี้

- HR1: องค์กรของท่านใช้ความพยายามอย่างมากในการสรรหาและคัดเลือกพนักงานที่เหมาะสมกับแต่ละตำแหน่งในองค์กร
- HR2: องค์กรของท่านเน้นการคัดเลือกพนักงานจากศักยภาพและการเติบโตในระยะยาวของพนักงาน
- HR3: องค์กรของท่านให้ผู้จัดการสายงานที่ต้องการรับสมัครพนักงานเพิ่มมีส่วนร่วมในการคัดเลือกพนักงานใหม่
- HR4: องค์กรของท่านคัดเลือกพนักงานจากความสามารถในการทำงานเป็นทีมและการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง
- HR5: องค์กรของท่านมีการฝึกอบรมอย่างเป็นทางการให้แก่พนักงาน

- HR6: องค์การของท่านมีนโยบายและโปรแกรมการฝึกอบรมที่ครอบคลุมให้แก่พนักงาน
 - HR7: องค์การของท่านมีการฝึกอบรมอย่างเป็นทางการในทักษะที่จำเป็นในการปฏิบัติงานให้กับพนักงานใหม่
 - HR8: องค์การของท่านมีการฝึกอบรมเพื่อพัฒนาความสามารถในการแก้ปัญหาให้แก่พนักงาน
 - HR9: องค์การของท่านมีระบบการให้ผลตอบแทนแบบผสมผสานระหว่างการให้ผลตอบแทนแบบคงที่และแบบแปรผันตามผลการปฏิบัติงาน
 - HR10: องค์การของท่านมีโบนัสประจำปีตามผลกำไรขององค์การหรือโครงการ
 - HR11: องค์การของท่านมีการเสนอสิ่งจูงใจให้แก่พนักงานตามระดับผลการปฏิบัติงานของแต่ละบุคคล
 - HR12: องค์การของท่านมีระบบการประเมินผลการปฏิบัติงานโดยพิจารณาจากปริมาณงานและผลสัมฤทธิ์
 - HR13: องค์การของท่านมีระบบการประเมินผลการปฏิบัติงานโดยพิจารณาจากพฤติกรรมส่วนบุคคล
 - HR14: องค์การของท่านเน้นการประเมินผลการปฏิบัติงานจากความสำเร็จของการทำงานเป็นทีมที่ยั่งยืน
 - OP1: องค์การของท่านมีส่วนแบ่งการตลาดเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง
 - OP2: องค์การของท่านได้รับความพึงพอใจจากลูกค้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง
 - OP3: องค์การของท่านมีการควบคุมต้นทุนที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง
 - OP4: องค์การของท่านมีการเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถเพื่อรองรับงานในอนาคต
 - OP5: บุคลากรในองค์การของท่านมีความพึงพอใจในการทำงานร่วมกับองค์กร
 - OP6: องค์การของท่านมีนวัตกรรมใหม่ในด้านเทคนิค การก่อสร้าง การบริหารจัดการวัสดุ และการบริหารโครงการ
- ส่วน H1 เป็นสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า การจัดการทรัพยากรมนุษย์จะมีผลกระทบทางบวกอย่างมีนัยสำคัญต่อผลการดำเนินงานขององค์กร

โดยงานวิจัยนี้สามารถแบ่งขั้นตอนการวิจัยได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยฉบับนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นพนักงานในระดับวิศวกรอาวุโส วิศวกรโครงการ ผู้จัดการโครงการ และผู้อำนวยการโครงการ ในบริษัทรับเหมาก่อสร้างงานโครงสร้างพื้นฐานในประเทศไทย โดยแบบสอบถามจะมีลักษณะเป็นแบบสอบถามแบบตัวเลือก (Checklist) และใช้มาตราวัดแบบ Likert Scale 5 ระดับ เพื่อวัดระดับความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม และใช้วิธีการกำหนดกลุ่มตัวอย่างตามข้อเสนอของ Schumacker & Lomax [18] และ Hair, J. et al [19] ซึ่งขนาดของกลุ่มตัวอย่างต่ำสุดที่มีความเหมาะสมและเพียงพอ ต้องไม่น้อยกว่า 150 ตัวอย่าง ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 203 ท่าน จากบริษัทรับเหมาก่อสร้างขนาดเล็ก กลางและใหญ่ทั้งหมด 67 บริษัท โดยมีรายละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถามดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดของผู้ตอบแบบสอบถาม

รายการ	จำนวน (คน)	ร้อยละ
1. เพศ		
- ชาย	192	94.58
- หญิง	11	5.42
รวม	203	100.00
2. ระดับการศึกษา		
- ปริญญาตรี	171	84.24
- ปริญญาโท	31	15.27
- ปริญญาเอก	1	0.49
รวม	203	100.00
3. ตำแหน่ง		
- วิศวกรอาวุโส	30	14.78
- วิศวกรโครงการ	143	70.44
- ผู้จัดการโครงการ	28	13.79
- ผู้อำนวยการโครงการ	2	0.99
รวม	203	100.00

โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบสอบถามเพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

- กำหนดกรอบแนวคิดในการวิจัยจากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- ออกแบบเครื่องมือในการวิจัยที่เหมาะสมกับกรอบแนวคิดที่ตั้งไว้โดยการสังเคราะห์และพัฒนาข้อคำถามจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- ทดสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ของแบบสอบถาม เพื่อหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) ระหว่างข้อคำถามกับคุณลักษณะตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยทำการทดสอบกับผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน หลังจากนั้นปรับแก้แบบสอบถามตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ ก่อนนำไปเก็บข้อมูลจริง [20]
- ทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability) โดยการนำผลการตอบแบบสอบถามมาวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้องภายในด้วยค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ซึ่งพบว่าปัจจัยของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ และผลการดำเนินงานขององค์การทั้งสองส่วนมีค่ามากกว่า 0.70 แสดงว่าปัจจัยที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือ [21]

4.2.การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเบื้องต้น และการวิเคราะห์ทางสถิติขั้นสูงด้วยเทคนิคการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้าง โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- การรวมกลุ่มตัวแปรสังเกตได้ที่ศึกษาในปัจจัยเดียวกันเข้าเป็นตัวแปรเดียวโดยใช้เทคนิค Total aggregation เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ เช่น รวมตัวแปร HR1-HR4 เข้าเป็นตัวแปร recruitment and selection โดยใช้โปรแกรม SPSS
- การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยัน (Confirmatory Factor Analysis, CFA) ของกลุ่มปัจจัยในด้านการจัดการทรัพยากรมนุษย์ และการวัดผลการดำเนินงานขององค์การตามกรอบแนวคิดของงานวิจัย เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของโมเดลตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิง

ประจักษ์ด้วยโปรแกรม AMOS โดยใช้ตัววัดทางสถิติดังตารางที่ 2 ดังนี้ [19] [22]

ตารางที่ 2 ดัชนีวัดความสอดคล้องของโมเดล

ลำดับ	ดัชนีวัดความสอดคล้อง	เกณฑ์การพิจารณา
1	GFI	$GFI \geq 0.90$
2	NFI	$NFI \geq 0.90$
3	TLI	$TLI \geq 0.90$
4	CFI	$CFI \geq 0.90$
5	SRMR	$SRMR \leq 0.05$
6	RMSEA	$RMSEA \leq 0.08$

- การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์การตามกรอบแนวคิดของงานวิจัย และหาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละกลุ่มตัวแปรจากค่าน้ำหนักถดถอย (Regression Weight) โดยหาได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$\text{ค่าน้ำหนักความสำคัญ} = \frac{\text{ค่าน้ำหนักถดถอย}}{\text{ผลรวมค่าน้ำหนักถดถอย}} \quad (1)$$

5. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1.การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งของปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์

การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่ง (1st Order CFA) เพื่อยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มปัจจัยของกระบวนการจัดการทรัพยากรมนุษย์ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งของปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์

ลำดับ	ดัชนีวัดความสอดคล้อง	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการวิเคราะห์
1	GFI	$GFI \geq 0.90$	0.997
2	NFI	$NFI \geq 0.90$	0.995
3	TLI	$TLI \geq 0.90$	1.006
4	CFI	$CFI \geq 0.90$	1.000

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งของปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์ (ต่อ)

ลำดับ	ดัชนีวัดความสอดคล้อง	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการวิเคราะห์
5	SRMR	$SRMR \leq 0.05$	0.013
6	RMSEA	$RMSEA \leq 0.08$	0.000

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 3 พบว่า ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ นั่นคือปัจจัยเหล่านี้สามารถบ่งชี้การจัดการทรัพยากรมนุษย์ขององค์กร

5.2.การวิเคราะห์ระดับความมีอิทธิพล

การวิเคราะห์ระดับความมีอิทธิพลของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4 และตารางที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ระดับความมีอิทธิพลของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร

ลำดับ	ดัชนีวัดความสอดคล้อง	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการวิเคราะห์
1	GFI	$GFI \geq 0.90$	0.987
2	NFI	$NFI \geq 0.90$	0.988
3	TLI	$TLI \geq 0.90$	1.007
4	CFI	$CFI \geq 0.90$	1.000
5	SRMR	$SRMR \leq 0.05$	0.018
6	RMSEA	$RMSEA \leq 0.08$	0.000

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4 พบว่า ผ่านเกณฑ์ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าโครงสร้างของกลุ่มปัจจัยมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ และพบว่ากระบวนการจัดการทรัพยากรมนุษย์ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร โดยมีค่า Correlation Coefficient เท่ากับ 0.88 ซึ่งค่อนข้างสูง (ดูรูปที่ 4 ประกอบ)

และจากการวิเคราะห์โมเดลสมการ โครงสร้างข้างต้นสามารถหาน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยจากค่าน้ำหนักถดถอยโดยใช้สมการที่ (1) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ค่าน้ำหนักถดถอย	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
การจัดการทรัพยากรมนุษย์		
การสรรหาและคัดเลือก	0.827	28.24%
การฝึกอบรมและพัฒนา	0.698	23.84%
ผลตอบแทน	0.642	21.93%
การประเมินผลการปฏิบัติงาน	0.761	25.99%
ผลการดำเนินงานขององค์กร		
มุมมองด้านลูกค้า	0.856	34.00%
มุมมองด้านกระบวนการปฏิบัติงานภายในองค์กร	0.837	33.24%
มุมมองด้านการเรียนรู้และการเติบโต	0.825	32.76%

6. อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ระดับความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์และผลการดำเนินงานของบริษัทที่รับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทย ซึ่งจากการศึกษาและวิเคราะห์โดยใช้โมเดลสมการโครงสร้าง สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ “การสรรหาและคัดเลือก” ซึ่งมีค่าน้ำหนักถดถอย 0.827 หรือคิดเป็น 28.24% อันดับถัดไป คือ “การประเมินผลการปฏิบัติงาน” มีค่าน้ำหนักถดถอย 0.761 หรือคิดเป็น 25.99% “การฝึกอบรมและพัฒนา” มีค่าน้ำหนักถดถอย 0.698 หรือคิดเป็น 23.84% และ “ผลตอบแทน” มีค่าน้ำหนักถดถอย 0.642 หรือคิดเป็น 21.93% ตามลำดับ การที่ปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์ด้านการสรรหาและคัดเลือกมี

น้ำหนักความสำคัญมากที่สุดอาจเป็นเพราะ สภาพการแข่งขันของอุตสาหกรรมก่อสร้างที่สูงขึ้นในปัจจุบัน และการพัฒนาอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีการก่อสร้าง รวมทั้งลักษณะเฉพาะของธุรกิจก่อสร้างที่ต้องใช้บุคลากรหลายประเภทและหลายระดับ ซึ่งบุคลากรแต่ละคนล้วนมีความรู้ความสามารถและทักษะฝีมือการทำงานที่แตกต่างกัน ทำให้การได้มาซึ่งทรัพยากรมนุษย์ที่มีทั้งความรู้ความสามารถ ทักษะ และทัศนคติที่เหมาะสมกับตำแหน่งงานและเหมาะสมกับองค์การเข้ามามีส่วนร่วมกับองค์การ อาจส่งผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้นเมื่อเทียบกับคู่แข่งรายอื่น นอกจากนี้ปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์ในด้านอื่น ๆ ล้วนมีความสำคัญเช่นเดียวกัน นั่นคือ ด้านการฝึกอบรมและพัฒนาซึ่งเป็นกระบวนการเสริมสร้างการเรียนรู้ทั้งในด้านวิชาการที่เกี่ยวข้องกับทักษะการทำงาน และในด้านจิตใจให้แก่บุคลากร ด้านผลตอบแทนซึ่งเป็นสิ่งจูงใจการตอบแทนให้กับบุคลากรในการปฏิบัติงานโดยมีทั้งผลตอบแทนที่เป็นตัวเงิน เช่น ค่าจ้าง เงินเดือน โบนัส และที่ไม่ใช่ตัวเงินเช่น สวัสดิการ การดูแลสุขภาพ ซึ่งการให้ผลตอบแทนที่เหมาะสมและคุ้มค่ากับงานจะยิ่งช่วยให้บุคลากรมีความเต็มใจที่จะปฏิบัติงานได้อย่างเต็มที่ และด้านการประเมินผลการปฏิบัติงานซึ่งเป็นกระบวนการประเมินศักยภาพของพนักงานเพื่อให้พนักงานได้รับทราบจุดที่ควรปรับปรุงในการทำงาน เพื่อแก้ไขและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยเสริมสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันให้กับผู้รับเหมาก่อสร้างไทยเพื่อให้สามารถแข่งขัน โดยเฉพาะกับบริษัทก่อสร้างต่างชาติได้มากยิ่งขึ้น

ส่วนปัจจัยผลการดำเนินงานขององค์กรที่มีน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด คือ “มุมมองด้านลูกค้า” ซึ่งมีค่าน้ำหนักถดถอย 0.856 หรือคิดเป็น 34.00% อันดับถัดไปคือ “มุมมองด้านกระบวนการปฏิบัติงานภายในองค์กร” มีค่าน้ำหนักถดถอย 0.837 หรือคิดเป็น 33.24% และ “มุมมองด้านการเรียนรู้และการเติบโต” มีค่าน้ำหนักถดถอย 0.825

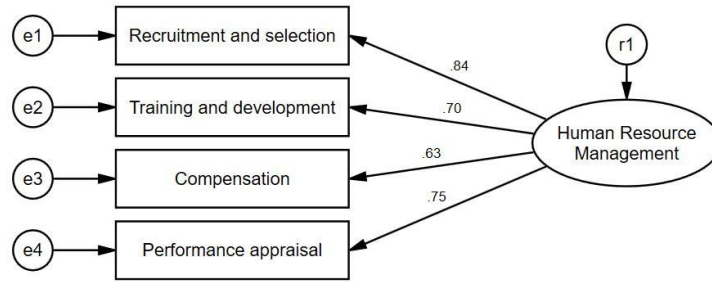
หรือคิดเป็น 32.76% นอกจากนี้การวิเคราะห์ระดับความมีอิทธิพลของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร พบว่ากระบวนการจัดการทรัพยากรมนุษย์ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กรค่อนข้างสูง (Correlation Coefficient = 0.88) นั่นคือ การจัดการทรัพยากรมนุษย์มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงานในระดับที่สูง

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาปัจจัยสำคัญของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ 4 ปัจจัย ได้แก่ การสรรหาและคัดเลือก การฝึกอบรมและพัฒนา ผลตอบแทน และการประเมินผลการปฏิบัติงาน ที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลการดำเนินงานที่ไม่ใช่ตัวเงินตามแนวคิด Balanced scorecard (BSC) ของบริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทย

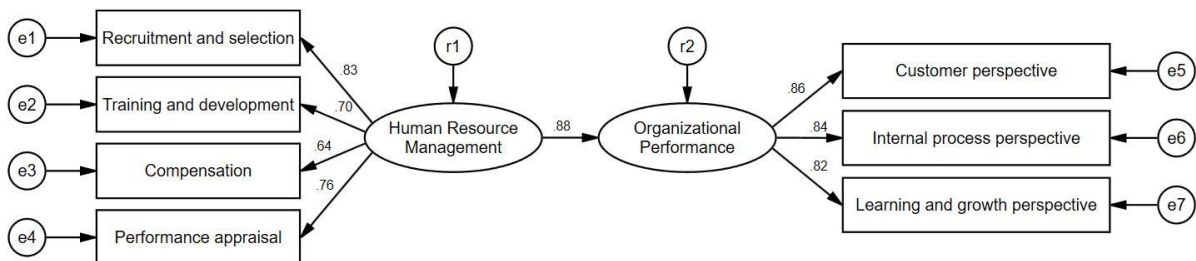
จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการจัดการทรัพยากรมนุษย์ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร โดยปัจจัยด้านการสรรหาและคัดเลือกส่งผลต่อผลการดำเนินงานสูงสุด นั่นคือหากองค์กรต้องการพัฒนากระบวนการจัดการทรัพยากรมนุษย์ให้มีประสิทธิภาพโดยเร็วที่สุดควรเน้นพัฒนาด้านการสรรหาและคัดเลือกเป็นอันดับแรก และจึงพัฒนาด้านอื่นๆเป็นอันดับต่อมาเพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางให้บริษัทรับเหมาก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานไทยในการปรับปรุงกระบวนการจัดการทรัพยากรมนุษย์ขององค์กรเพื่อเสริมสร้างความได้เปรียบในการแข่งขันนอกเหนือจากการใช้เงินทุนและเครื่องจักรในปัจจุบัน ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อการแข่งขันในอนาคต

สำหรับข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์ด้านอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึงในงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการนำไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต่อไป



GFI = .997, NFI = .995, TLI = 1.006, CFI = 1.000, RMSEA = .000

รูปที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงยืนยันอันดับหนึ่งของปัจจัยการจัดการทรัพยากรมนุษย์



GFI = .987, NFI = .988, TLI = 1.007, CFI = 1.000, RMSEA = .000

รูปที่ 4 การวิเคราะห์ระดับความมีอิทธิพลของการจัดการทรัพยากรมนุษย์ที่ส่งผลต่อผลการดำเนินงานขององค์กร

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Jiradumgeng, "Construction project," in *Construction Management*, Pathumthani, Thailand: Rangsit University Printing House, 2000, pp. 2–8.
- [2] K. Wangniwetkul, "Introduction," in *Management in Construction Engineering*, Bangkok, Thailand: S. Asia press, 2004, pp. 11–12.
- [3] Krungsri Research, "Industry Outlook 2019-2021: Construction Contractor," Bank of Ayudhya Public Company Limited., Bangkok, Thailand, Aug. 10, 2019. [Online]. Available : https://www.krungsri.com/bank/getmedia/7fe1e975-13f4-4040-a276-0d40841e504b/IO_Construction_Contractor_190606_TH_EX.aspx.
- [4] D. Harvey and R. B. Bowin, "The Success System: Anticipating Success" in *Human Resource Management: An Experiential Approach*, 1st ed. New Jersey, United States: Prentice Hall, 1996, pp. 6.
- [5] G. Dessler, "The Strategic Role of Human Resource Management" in *Human Resource Management*, 9th ed. New Jersey, United States: Prentice Hall, 2003, pp. 4–5.
- [6] S. Juito, "Strategic Human Resource Management" in *The new dimension of human capital management*. Nonthaburi, Thailand: Sukhothai Thammathirat Open University, 2011, pp. 12–18.
- [7] T. Wattanasupachoke, "Strategic human resource management and organizational performance: A study of Thai enterprises," *Journal of Global Business Issues*, vol.3, no. 2, pp. 139–148, 2009.
- [8] M. A. Huselid, "The impact of human resource management practices on turnover, productivity and corporate financial performance," *Academy of Management Journal*, vol.38, no.3, pp. 635–872, 1995.

- [9] S. Akhtar, D. Z. Ding and G. L. Ge, "Strategic HRM practices and their impact on company performance in Chinese enterprises," *Human Resource Management Journal*, vol. 47, no. 1, pp. 15–32, 2008 doi: 10.1002/hrm.20195.
- [10] Y. Abdallat, T. Suifan, K. Oklah, G. J. Sweis and R. J. Sweis, "The impact of human resource management practices on organizational performance in construction companies in Jordan," *International Journal of Business Innovation and Research*, vol. 23, no. 4, pp. 515–539, 2020, doi: 10.1504/IJBIR.2020.10025591.
- [11] R. Kaplan and D. P. Norton, "Strategic Learning & The Balanced Scorecard," *Strategy & Leadership*, Vol. 24 No. 5, pp. 18–24, 1996, doi: 10.1108/eb054566.
- [12] S. Gurbuz and I. S. Mert, "Impact of the strategic human resource management on organizational performance: Evidence from Turkey," *The International Journal of Human Resource Management*, vol. 22, no. 8, pp. 1803–1822, 2011, doi: 10.1080/09585192.2011.565669.
- [13] J. E. Delery and D. H. Doty, "Modes of theorizing in strategic human resource management: Tests of universalistic, contingency, and configurational performance predictions," *Academy of Management Journal*, vol. 39, no. 4, pp. 802–835, 1996, doi: 10.2307/256713.
- [14] P. M. Wright, T. M. Gardner and L. M. Moynihan, "The impact of HR practices on the performance of business," *Human Resource Management Journal*, vol. 13, no. 3, pp. 21–36, 2003, doi: 10.1111/j.1748-8583.2003.tb00096.x.
- [15] B. A. O. Dimba, "Strategic human resource management practices: effect on performance," *African Journal of Economic and Management Studies*, vol. 1, no. 2, pp. 128–137, 2010, doi: 10.1108/20400701011073455.
- [16] X. Zhai, A. M. Liu and R. Fellows, "Role of Human Resource Practices in Enhancing Organizational Learning in Chinese Construction Organizations," *Journal of Management in Engineering*, vol. 30, no. 2, pp. 194–204, 2014, doi: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000207.
- [17] N. Wiratchai, "Research Model and LISREL," in *LISREL Model: Statistical Analysis for Research*, 3rd ed. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Printing House, 1999, pp. 2–5.
- [18] R. E. Schumacker and R. G. Lomax, "Data Entry and Edit Issues," in *A Beginner's Guide to Structural Equation Modeling*, 1st ed. Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1996, pp. 12–16.
- [19] J. F. Hair, R. E. Anderson, R. L. Tatham and W. C. Black, "Analysis Using Dependence Techniques," in *Multivariate Data Analysis*, 7th ed. Hoboken, NJ, USA: Prentice Hall, 2010, pp. 154–176.
- [20] R. J. Rovinelli and R. K. Hambleton, "On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity," Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association : California. April 19–23, 1976 [Online] Available : <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED121845.pdf>.
- [21] P. Panayides, "Coefficient Alpha: Interpret With Caution," *Europe's Journal of Psychology*, vol. 9, no. 4, pp. 687–696, 2013, doi: 10.5964/ejop.v9i4.653.
- [22] K. A. Bollen, "Confirmatory Factor Analysis" in *Structural Equations with Latent Variables*, 1st ed. New York, NY, USA: John Wiley and Sons Inc, 1989, pp. 250–278.

การประยุกต์รูปแบบความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบเพื่อลดของเสียใน กระบวนการผลิตเสาไฟฟ้า

Application of Failure Mode and Effects Analysis to Reduce Wastes Power Pole Production Process

กิตติชัย อธิกุลรัตน์^{1*} ศิริรัตน์ แจ้รักษ์สกุล² และ เจษฎา พลชุมพล³

¹ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลหิตติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วงศ์สว่าง บางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

²หลักสูตรการจัดการโลหิตติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต
หลักสี่ หลักสี่ กรุงเทพมหานคร 10210

³สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน 2 สุพรรณบุรี กรมพัฒนาฝีมือแรงงาน กระทรวงแรงงาน ไร่ขาง เมืองสุพรรณบุรี สุพรรณบุรี 72000

Kittichai Athikulrat¹ Sirat Jangruxsakul² and Jedsada Plychumpol³

¹ Department of Materials Handling and Logistics Engineering , Faculty of Engineering

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Wongsawang, Bangsue, Bangkok, 10800

² Department of Logistics and Supply Chain Management, College of Innovative Business and Accountancy,

Dhurakij Pundit University, Luksi, Bangkok, 10201

³ Suphanburi Regional Institute for Skill Development, Department of Skill Development, Ministry of Labour

Phai Khwang sub district , Mueang Suphanburi, Suphanburi , 72000

*Corresponding Author E-mail : kittichai.athi@gmail.com

Received: Jul 18, 2021; Revised: Sep 03, 2021; Accepted: Sep 14, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตเสาไฟฟ้า โดยประยุกต์รูปแบบความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบ เพื่อคำนวณค่าความเสี่ยงซึ่งนำสำหรับคัดเลือกรูปแบบความล้มเหลวเพื่อดำเนินการแก้ไขปรับปรุง ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบความล้มเหลวของเสาไฟฟ้า มี 5 รูปแบบ ได้แก่ 1.เสาไฟฟ้าร้าว 2.เสาไฟฟ้ามีครีบ 3.เสาไฟฟ้าหล่อไม่เต็ม 4.รูติบ รูตัน และ 5.เสาไฟฟ้าคด จากรูปแบบความล้มเหลว ทั้ง 5 ได้ดำเนินการประเมินความรุนแรงของผลกระทบจากรูปแบบความล้มเหลวในเชิงปริมาณ พร้อมระดมสมองเพื่อหาสาเหตุของความล้มเหลวและประเมินโอกาสการเกิดความล้มเหลวจากสาเหตุนั้นๆ เจึงปริมาณรวมถึงการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง ในเชิงปริมาณ เพื่อคำนวณค่าความเสี่ยงซึ่งนำ ผลการคำนวณพบว่า รูปแบบความล้มเหลว ประเภทเสาไฟฟ้าแตกร้าว และเสาไฟฟ้าเป็นครีบ มีค่าความเสี่ยงซึ่งนำสูงที่สุดคือ 75 พบว่าเสาไฟฟ้าแตกร้าว มีสาเหตุจากพนักงานตัดลวดโครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และเสาไฟฟ้าเป็นครีบ มีสาเหตุจากประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลึกล็อกแบบหล่อ จึงได้ดำเนินการปรับปรุงตามสาเหตุดังกล่าว คือ 1.การฝึกอบรมเพิ่มความรู้และทักษะในการตัดลวด และ 2.ประยุกต์ใช้การควบคุมด้วยสายตาเพื่อให้พนักงานประกอบแบบหล่อให้สนิทในจุดที่เน้น ผลการปรับปรุงทำให้ของเสียลดลงร้อยละ 11.93 จากเดิมของเสียร้อยละ 2.43 เป็น ร้อยละ 2.14 พร้อมกับค่าความเสี่ยงซึ่งนำของรูปแบบความล้มเหลวทั้ง 2 ประเภท ได้แก่ เสาไฟฟ้าแตกร้าวและเสาไฟฟ้าเป็นครีบ ลดลงเหลือ 30 และ 18 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ของเสีย, รูปแบบความล้มเหลวและการวิเคราะห์ผลกระทบ, ค่าความเสียหาย

Abstract

The objective of this research is to reduce wastes in the process of power pole production by means of an application of Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in order to calculate Risk Priority Number (RPN) on purpose to select the failure pattern for improvement. According to the initial study, the results display that there are five failure patterns, encompassing with power pole's crack, burr, incomplete cast, constricted hole and crooking. Based on those failure ones, the evaluation of severity (with the brainstorm for investigating the cause) and occurrence from that cause, including detection, in regard to quantity was applied for computing RPN. The consequence of calculation demonstrates that the maximum RPN of 75 is products exposing failure of crack and burr. The crack was the cause of wire cutting by employees resulting in non-conforming products, while the burr was the reason for imperfect mold during assembly as well as forgetting to bolt the mold. Accordingly, the measure of improvement was in turn determined. In response, the wire cutting was trained to improve knowledge and skills, whereas the visual control application for enabling those employees to assemble the focus point with perfection. After improvement, the outcome is exhibited that wastes are reduced by 11.93%. (decreased from 2.43 to 2.14%). Meanwhile, RPNs in relation to the failure of crack and burr are decreased to 30 and 18, respectively

Keyword: Waste, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Risk Priority Number (RPN)

1. บทนำ (Introduction)

“พลังงานไฟฟ้า” เป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิต รวมถึงทำให้เกิดการขับเคลื่อนทั้งทางภาคเศรษฐกิจและสังคม ผู้ความเจริญของประเทศ เป็นปัจจัยสำคัญทำให้เกิดการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ ผ่านการเชื่อมโยงของ “ระบบส่งไฟฟ้า” ที่มีบทบาทสำคัญในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิตมาสู่ผู้ใช้ไฟ สร้างความเจริญสู่ทุกภูมิภาคของประเทศ ก่อให้เกิดเสถียรภาพทางเศรษฐกิจ ของประเทศ ทั้งนี้ระบบส่งไฟฟ้า ประกอบด้วย สายส่งไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งแบ่งตามระดับแรงดันไฟฟ้า ได้แก่ 500 กิโลโวลต์ (kV) 230 kV 115 kV และ 69 kV สายส่งไฟฟ้าแรงสูง ยิ่งไกลยิ่งต้องใช้แรงดันไฟฟ้าที่สูง เพื่อลดอัตราการสูญเสียพลังงานในสายส่งไฟฟ้า เสาส่งไฟฟ้าแรงสูงมี 3 ประเภท คือ เสาคอนกรีต เสาโครงเหล็ก และเสาชนิด Monopole ที่มีลักษณะคล้ายเสาเหล็กสูงตั้งอยู่โดดเด่น มีข้อดีคือ ติดตั้งง่าย เหมาะสำหรับการใช้ติดตั้งในพื้นที่ที่จำกัด แต่ก็มีราคาสูงกว่าเสาโครงเหล็กมาก นอกจากนี้ระบบส่งไฟฟ้ายังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า สถานีไฟฟ้า และสถานีไฟฟ้าแรงสูง โดยมี ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ทำหน้าที่ควบคุมการผลิตและส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [1]

เสาไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่ในการรองรับการติดตั้งสายไฟให้อยู่เหนือพื้นดิน ด้วยวิธีติดตั้งด้วยยึดจับสายไฟฟ้า สำหรับเหตุผลที่ทำให้ต้องมีการพาดสายไฟไว้เหนือพื้นดินสูง ๆ ก็เนื่องจากว่าสายไฟฟ้าโดยทั่วไปนั้นเป็นสายเปลือยที่มีอันตรายต่อผู้ที่ไปสัมผัสโดยไม่ตั้งใจ และถ้าหากเกิดความผิดปกติขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่ออื่น ๆ อีกมากมาย ในส่วนของเสาไฟฟ้าก็ต้องมีความแข็งแรงและมั่นคงระดับหนึ่ง อีกทั้งควรจะต้องรองรับน้ำหนักได้ดีและไม่หักโค่นง่ายในอดีตนั้น เสาไฟฟ้ายุคแรก ๆ ทำด้วยไม้ แต่เมื่อไม้เริ่มหายากและไม่สามารถใช้งานได้นาน จึงมีการเปลี่ยนวัสดุเป็นเสาคอนกรีตแทน ในส่วนนี้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแห่งประเทศไทยก็ให้เห็นด้วยและมีการเปลี่ยนเสาไฟฟ้าทั้งหมดในประเทศไทยเป็นเสาคอนกรีตแล้ว แต่อาจจะยังหลงเหลือในพื้นที่ชนบทห่างไกลบ้างเล็กน้อย ซึ่งก็จะมีการเปลี่ยนเป็นเสาคอนกรีตทั้งหมดในอนาคต (และในปัจจุบันนี้ ก็เริ่มมีเป็นเสาอะลูมิเนียมมาติดตั้งในบางพื้นที่แล้ว) ขนาดของเสาไฟฟ้าคอนกรีต ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเลือกใช้ ประกอบไปด้วย 6 ขนาด ดังนี้ 1) เสาคอนกรีต 6 เมตร นิยมใช้เป็นเสาบริการหรือเสาสำหรับไฟฟ้าสายแรงต่ำ 2) เสาคอนกรีต 8 เมตร มักจะใช้งานกับการจำหน่ายแรงไฟฟ้าต่ำแบบ 1 เฟส 2 สายและ 2 เฟส

3) เสาคอนกรีต 9 เมตร มักจะใช้งานกับการจำหน่ายแรงไฟฟ้าต่ำแบบ 3 เฟส 4 สาย 4) เสาคอนกรีต 12 เมตร มักจะใช้งานกับการจำหน่ายแรงไฟฟ้าสูง 5) เสาคอนกรีต 14 เมตร มักจะใช้งานกับการจำหน่ายแรงไฟฟ้าสูง 6) เสาคอนกรีต 22 เมตร มักจะใช้งานกับการจำหน่ายแรงไฟฟ้าสูง โดยทั่วไปผู้ประกอบการที่ดำเนินการผลิตเสาไฟฟ้า มีลูกค้าหลักคือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีการประกวดราคาแข่งขัน และตรวจสอบคุณภาพตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า ดังนั้นเองผู้ประกอบการจึงจำที่จะต้องให้ความสำคัญกับประเด็นปัญหาด้านคุณภาพ เพื่อให้งานเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าต่อไป อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยหลายงานที่มุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพลดของเสียในกระบวนการผลิต มีการใช้เครื่องมือคุณภาพต่างๆ เพื่อเข้ามาช่วยวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องที่ไม่ได้คุณภาพเพื่อกำหนดแนวทางหรือมาตรการการป้องกันต่อไป ทั้งนี้มีงานวิจัยที่มีนักวิจัยหลายท่านได้ดำเนินการเพื่อลดของเสีย โดยใช้กระบวนการวิจัยที่สำคัญ คือ 1) งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ Six Sigma ซึ่งมีการกำหนดขั้นตอนการวิจัย เพื่อ ระบุปัญหา (Define), ประเมินปัญหา (Measure), วิเคราะห์ปัญหา (Analyze), กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา (Improve) และควบคุมปัญหา (Control) หรือ DMAIC เพื่อมิให้ปัญหาเกิดซ้ำ ซึ่งเป็นขั้นตอนการวิจัยที่มุ่งเน้นลดของเสียโดยพิจารณาความสำคัญของปัญหาในเชิงปริมาณ (Quantity) คือ โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ พาวเรโต (Pareto) สำหรับวัดและประเมินความสำคัญของปัญหา [2-4] และ 2) งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ FMEA มุ่งเน้นการพิจารณาปัญหาทั้งเชิงปริมาณ (Quantity) และเชิงคุณภาพ (Quality) เพื่อมุ่งเน้นการค้นหาคำถามสำคัญเพื่ดำเนินการแก้ไขปัญหา โดยพิจารณาคัดเลือกปัญหาจากปริมาณของข้อบกพร่องหรือโอกาสการเกิดข้อบกพร่องแต่ละชนิด ผลกระทบของข้อบกพร่องแต่ละชนิดและความสามารถในการตรวจจับและป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง พร้อมประเมินผลเป็นความเสี่ยงขึ้นา (Risk Priority Number : RPN) สำหรับคัดเลือกปัญหา โดยวัตถุประสงค์ของการดำเนินการ FMEA คือการป้องกันความล้มเหลวหรือความเสียหายของผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ (Design FMEA) หรือกระบวนการใหม่

(Process FMEA) [5-8] สำหรับงานวิจัยนี้พิจารณาความสำคัญของปัญหาทั้งมุมมองเชิงปริมาณและคุณภาพ [9-11] เนื่องจากผลกระทบของปัญหาจากการผลิตเสาไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นอันตรายต่อประชาชนในบริเวณแนวเสาไฟ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยพิจารณาจากค่า RPN ซึ่งเป็นค่าความเสี่ยงขึ้นา เพื่อกำหนดลักษณะของความล้มเหลวที่สำคัญในการแก้ไขปรับปรุง

ดังนั้นเองการเลือกเครื่องมือเพื่อใช้สำหรับเป็นขั้นตอนการวิจัยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในงานวิจัย ซึ่งจำเป็นต้องพิจารณาหลายมุมมอง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย (Materials and Methods)

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) กล่าวคือ เป็นงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ศึกษาการปฏิบัติงานโดยใช้ระเบียบวิธีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อระบุถึงปัญหาและแก้ไขปัญหา งานที่ปฏิบัติอยู่ โดยดำเนินการวิจัยที่ปฏิบัติงาน โดยจุดมุ่งหมาย สำคัญของงานวิจัยเชิงปฏิบัติการ คือ มุ่งหมายที่จะปรับปรุง ประสิทธิภาพของการปฏิบัติงานประจำให้ดีขึ้น ลดของเสียหรืองานที่ไม่ได้คุณภาพ โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) สำหรับการวิเคราะห์และป้องกันความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ ทำให้ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย การวิจัยในครั้งนี้ มี 4 ขั้นตอนดังนี้

2.1. การระบุปัญหาในการศึกษาวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาและระบุปัญหาตามความสำคัญของผลิตภัณฑ์โดยพิจารณาคัดเลือกจากร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด พร้อมทั้งศึกษาคุณลักษณะของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ที่ไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า พิจารณาจากโอกาสในการเกิดคุณลักษณะของข้อบกพร่อง ผลกระทบของข้อบกพร่องต่อการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลว พร้อมกำหนดเป็นช่วงคะแนน เพื่อใช้สำหรับประเมินผลจากเชิงคุณภาพเป็นเชิงปริมาณ ต่อไป

2.2. การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำของแต่ละความล้มเหลว (Risk Priority Number : RPN)

สำหรับจัดลำดับความสำคัญของความล้มเหลวแต่ละชนิดเพื่อนำลำดับความสำคัญไปใช้จัดลำดับความเร่งด่วนในการแก้ไขปัญหาต่อไป พร้อมกับคัดเลือกปัญหาที่มีความสำคัญจากค่าความเสี่ยงชั้นนำสูงสุด ซึ่งสามารถระบุคะแนน ซึ่งมีระดับคะแนนในการประเมิน คือ 1-5 [10] จาก 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้น (Severity :S) โดยระดับคะแนนพิจารณาจากผลกระทบของข้อบกพร่องนั้น ซึ่งผลต่อความรู้สึกของลูกค้า ความไม่พึงพอใจของลูกค้าและความอันตรายต่อการนำไปใช้งานของลูกค้า โดยในการประเมินผลคะแนนจากปัจจัยนี้ ใช้ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเนื่องจากเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพซึ่งเกิดจากการผลิต เสาไฟฟ้าและผู้นำเสาไฟฟ้าไปใช้งาน ได้แก่ วิศวกรอาวุโสการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และวิศวกรฝ่ายผลิตภายในสถานประกอบการ รวมถึงผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ คะแนนการประเมินสามารถแสดงได้ในตารางที่ 1 [12]

ตารางที่ 1 ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้น

ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้น (S)	คะแนน
สูงมาก (ข้อบกพร่องมีผลกระทบต่อการนำไปใช้งานทำให้เกิดอันตรายต่อการใช้)	5
สูง (ข้อบกพร่องส่งต่อความไม่พึงพอใจของลูกค้าในระดับสูง ส่งผลต่อการใช้งาน)	4
ปานกลาง (ข้อบกพร่องส่งต่อความไม่พึงพอใจของลูกค้า ไม่ส่งผลต่อการนำไปใช้งาน)	3
น้อย (ข้อบกพร่องส่งต่อความรู้สึกของลูกค้า)	2
น้อยมาก (ข้อบกพร่องไม่ส่งผลต่อความรู้สึกของลูกค้า)	1

2) โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องจากสาเหตุนั้น (Occurrence :O) โดยพิจารณาจากร้อยละของความถี่ของสาเหตุที่ส่งผลต่อความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้นๆ พร้อมแปลงเป็นคะแนน [12] ทั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนสำหรับโอกาสการเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องจากสาเหตุ

จากร้อยละของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องจากสาเหตุนั้น

โอกาสการเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องจากสาเหตุนั้น (O)	ร้อยละของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง	คะแนน
สูงมาก	≥ 40	5
สูง	$30 \leq O < 40$	4
ปานกลาง	$20 \leq O < 30$	3
น้อย	$10 \leq O < 20$	2
น้อยมาก	$O < 10$	1

3) ความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง เป็นความสามารถในการป้องกันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดลักษณะที่มีของเสียหรือของไม่ได้คุณภาพตามลักษณะข้อบกพร่อง ซึ่งหากระบบหรือกระบวนการสามารถตรวจจับและป้องกันได้ดี จะส่งผลทำให้มีคุณลักษณะข้อบกพร่องดังกล่าวลดลง ทำให้ได้ผลคะแนนน้อย หากกระบวนการสามารถตรวจจับและป้องกันได้ไม่ดีจะส่งผลทำให้ผลคะแนนมากขึ้น โดยในการประเมินผลคะแนนจากปัจจัยนี้ ใช้ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเนื่องจากเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพซึ่งเกิดจากการผลิต เสาไฟฟ้าและผู้นำเสาไฟฟ้าไปใช้งาน ได้แก่ วิศวกรอาวุโสการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และวิศวกรฝ่ายผลิตภายในสถานประกอบการ รวมถึงผู้จัดการฝ่ายควบคุมคุณภาพ คะแนนการประเมินสามารถแสดงได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง [12]

ความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D)	คะแนน
น้อยมาก	5
น้อย	4
ปานกลาง	3
สูง	2
สูงมาก	1

ภายหลังทำการประเมินค่า S,O และ D ให้นำผลประเมินที่ได้คำนวณค่าความเสี่ยงขึ้น (Risk Priority Number :RPN) คือ ผลคูณของคะแนนจากปัจจัยด้าน ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้น Severity (S), โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องจากสาเหตุ นั้น Occurrence (O) และความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง Detection (D) [10]

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

2.3.กำหนดมาตรการและดำเนินการปรับปรุง

เป็นการดำเนินการกำหนดมาตรการและดำเนินการปรับตามลำดับความสำคัญของ RPN จากมากไปหาน้อย

2.4.ประเมินค่า RPN ใหม่

ภายหลังการปรับปรุง พร้อมตรวจสอบร้อยละของเสียที่ลดลง และค่า RPN ใหม่

3. ผลการทดลอง (Results)

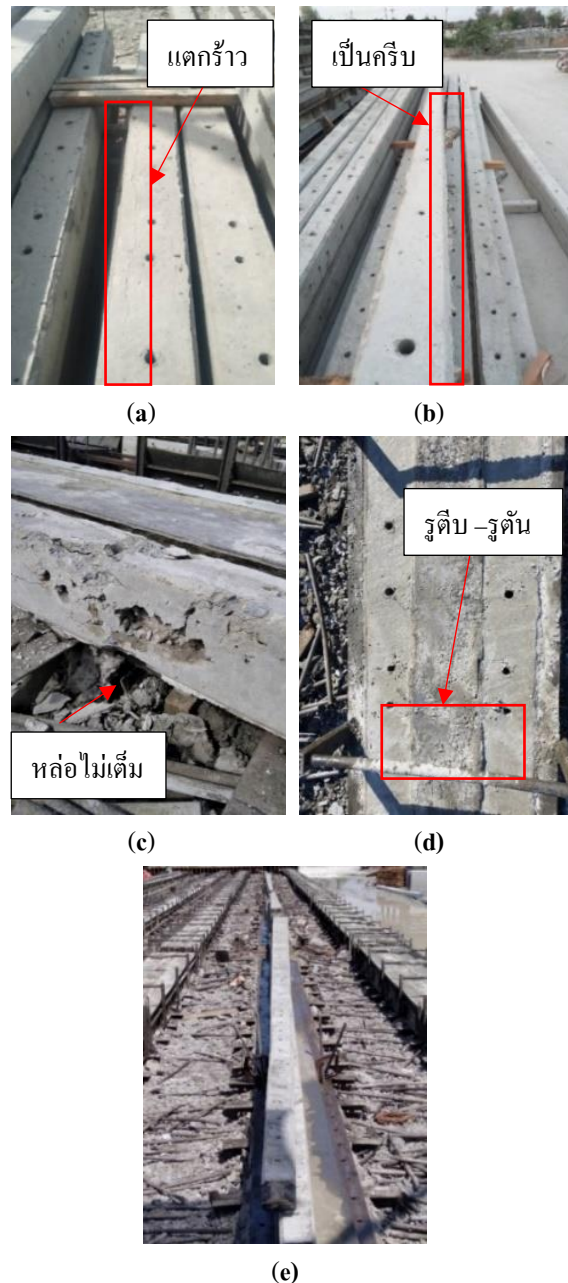
3.1.ระบุปัญหาในการศึกษาวิจัย

สถานประกอบการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้า เพื่อส่งมอบให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายภูมิภาค ในจังหวัดในโซนภาคกลางและภาคเหนือตอนล่าง จำนวน 6 รายการ โดยพิจารณาความสูญเสียจากร้อยละของของเสียจากการผลิต ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ร้อยละของเสียของผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้าแต่ละขนาด ใน เดือน ม.ค.-ธ.ค. พ.ศ. 2563

ขนาดเสาไฟฟ้า (เมตร)	ปริมาณของเสีย(ตัน)	ปริมาณการผลิต(ตัน)	ร้อยละของเสีย
6	365	15,000	2.43
8	162	12,000	1.25
9	147	15,000	0.98
12	172	12,000	1.43
14	281	15,000	1.87
22	197	12,000	1.64

จากตารางที่ 4 พบว่าผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร คือ ผลิตภัณฑ์ที่มีความสูญเสียมากที่สุด ดังนั้นเองผู้วิจัยดำเนินการศึกษาข้อมูลของเสียในการผลิตเสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร พบว่าของเสียจากกระบวนการผลิต มีคุณลักษณะข้อบกพร่อง ดังต่อไปนี้ 1.แตกร้าว 2.เป็นครีบ 3.หล่อไม่เต็ม 4.รูตีบ-รูตัน และ 5.เสาคด ดังรูปที่ 1(a)-(e)



รูปที่ 1 ข้อมูลของเสียในการผลิตเสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร (a) เสาไฟฟ้าแตกร้าว (b) เสาไฟฟ้าเป็นครีบ (c) เสาไฟฟ้าหล่อไม่เต็ม (d) รูตีบ-รูตัน (e) เสาไฟคด

3.2.การประเมินค่าความเสี่ยงชั้นนำของแต่ละคุณลักษณะ ของความล้มเหลว (Risk Priority Number : RPN)

สำหรับการประเมินค่า RPN ได้ดำเนินการประเมินค่า S, O และ D โดยได้ประเมินค่า S ตามผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวแต่ละประเภท ดัง ตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินค่า S

ประเภทความล้มเหลว	ผลกระทบ	ผลการประเมิน (S)
แตกร้าว	เป็นอันตรายต่อการใช้งาน มีโอกาสเสไฟฟ้าหักระหว่างการใช้งาน	5
เป็นครีบ	ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อการนำไปใช้งาน ทำให้เกิดอันตรายจากคมของครีบ	3
หล่อไม่เต็ม	เป็นอันตรายต่อการใช้งานของลูกค้า ทำให้เกิดอันตรายส่งผลให้เสไฟฟ้าหักในระหว่างใช้งาน	5
รูติบ-รูตัน	ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อการใช้งาน ในการนำไปใช้ในการป็นเสไฟฟ้า	1
คด	ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อการพาดวางสายไฟ	4

สำหรับการประเมินค่า O พิจารณาจากร้อยละของสาเหตุการเกิดความล้มเหลวในแต่ละประเภท โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลความถี่และร้อยละการเกิดความล้มเหลวในแต่ละประเภท ในช่วงระหว่างวันที่ 6 ม.ค. 63–25 ธ.ค. 63 ดัง ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ร้อยละของความล้มหรือข้อบกพร่องของเสไฟฟ้า ขนาด 6 เมตร ใน เดือน 6 ม.ค.–25 ธ.ค. 63

ประเภทความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องของเสไฟฟ้า	ความถี่ (ตัน)	ร้อยละ
เป็นครีบ	186	50.96
แตกร้าว	145	39.73

ตารางที่ 6 ร้อยละของความล้มหรือข้อบกพร่องของเสไฟฟ้า ขนาด 6 เมตร ใน เดือน 6 ม.ค.–25 ธ.ค. 63(ต่อ)

ประเภทความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องของเสไฟฟ้า	ความถี่ (ตัน)	ร้อยละ
หล่อไม่เต็ม	22	6.02
รูติบ รูตัน	7	1.92
คด	5	1.37
รวม	365	100.00

จากร้อยละของสาเหตุการเกิดความล้มเหลวทั้ง 5 ประเภท ได้ทำการเก็บรวบรวมสาเหตุความล้มเหลวแต่ละประเภททั้ง 5 ประเภท พร้อมความถี่และร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวนั้นๆ เพื่อใช้ประเมินค่า O ดัง ตารางที่ 7–11 โดยอ้างอิงจากร้อยละของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องหรือความล้มเหลวในแต่ละประเภท จาก ตารางที่ 2

ตารางที่ 7 ผลการประเมินค่า O จากร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวประเภทเป็นครีบ ระหว่าง 6 ม.ค.–25 ธ.ค. 63

สาเหตุ	ความถี่ (ตัน)	ร้อยละ	คะแนน
ประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลึ้มลือกแบบหล่อ	91	48.92	5
แบบหล่อชำรุด	90	48.39	5
ผสมปูนเหลว	5	2.69	1
รวม	186	100	

ตารางที่ 8 ผลการประเมินค่า O จากร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวประเภทแตกร้าว ระหว่าง 6 ม.ค.–25ธ.ค. 63

สาเหตุ	ความถี่ (ตัน)	ร้อยละ	คะแนน
พนักงานตัดเหล็กโครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	118	81.38	5
พนักงานผสมปูนไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	22	15.17	2

ตารางที่ 8 ผลการประเมินค่า O จากร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวประเภทแตกร้าว ระหว่าง 6 ม.ค.-25 ธ.ค. 63(ต่อ)

สาเหตุ	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ	คะแนน
พนักงานยกเสาไฟฟ้า ออกจากแบบก่อน แกะแบบหมด	5	1.38	1
พนักงานวางเหล็ก ปล็อกไม่กระจายตาม ข้อกำหนด	3	2.07	1
รวม	145	100.00	

ตารางที่ 9 ผลการประเมินค่า O จากร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวประเภทหล่อไม่เต็มระหว่าง 6ม.ค.-25ธ.ค.63

สาเหตุ	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ	คะแนน
พนักงานเดินจี้เครื่อง สั่นสะเทือนไม่ทั่วถึง ทำให้คอนกรีตไหล เข้าทั่วถึงในแบบ	14	63.63	5
พนักงานเดินจี้เครื่อง สั่นสะเทือน เร็ว เกินไป	8	36.37	4
รวม	22	100.00	

ตารางที่ 10 ผลการประเมินค่า O จากร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวประเภทรูตีบ รูตัน ระหว่าง 6ม.ค.-25ธ.ค.63

สาเหตุ	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ	คะแนน
พนักงานดึงแบบรูเสาไฟฟ้า เร็วเกินไป	6	85.71	5
พนักงานใส่แบบรูเสา ไฟฟ้า	1	14.29	1
รวม	7	100.00	

ตารางที่ 11 ผลการประเมินค่า O จากร้อยละของสาเหตุความล้มเหลวประเภทคด ระหว่าง 6 ม.ค.-25 ธ.ค.63

สาเหตุ	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ	คะแนน
แบบหล่อชำรุด บิดเบี้ยว	5	100.00	5
รวม	5	100.00	

สำหรับการประเมินค่า D ความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง จากความล้มเหลวประเภทต่างๆ โดยผู้เชี่ยวชาญภายในและภายนอก โดยพิจารณาเป็นรายสาเหตุของการทำให้เกิดความล้มเหลวเพื่อใช้สำหรับการประกอบการพิจารณาควบคุมในการปฏิบัติงาน พร้อมประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลว ประเภทนั้น ดัง ตารางที่ 12-16

ตารางที่ 12 ผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D)ความล้มเหลวด้านการแตกร้าว

สาเหตุ	จุดควบคุม	ระดับ คะแนน
พนักงานตัดลวด โครงสร้างไม่เป็นไป ตามข้อกำหนด คือตัด ผิดลำดับในแต่ละเส้น	การกำหนดการ ตัดลวดในแต่ละ เส้น	3
พนักงานผสมปูนไม่ เป็นไปตามข้อกำหนด	ส่วนผสมน้ำปูน และการจัดเก็บ ก่อนเทลงแบบ	1
พนักงานยกเสาไฟฟ้า ออกจากแบบก่อนแกะ แบบหมด	จำนวนตัวล็อก แบบที่ถอดแล้ว เสร็จ	1
พนักงานวางเหล็ก ปล็อกไม่กระจายตาม ข้อกำหนด	ตรวจสอบก่อน เทน้ำปูน	1

ตารางที่ 13 ผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D)ความล้มเหลวด้านการเป็นครีบ

สาเหตุ	จุดควบคุม	ระดับคะแนน
ประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลืบล็อกแบบหล่อ	จุดล็อกแบบหล่อและการตรวจสอบการล็อกแบบหล่อ	5
แบบหล่อชำรุด	ตรวจสอบภายหลังและซ่อมแซมก่อนนำมาใช้	3
ผสมปูนเหลว	ส่วนผสมน้ำปูนและการจัดเก็บก่อนเทลงแบบ	1

ตารางที่ 14 ผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D)ความล้มเหลวด้านแบบหล่อไม่เต็ม

สาเหตุ	จุดควบคุม	ระดับคะแนน
พนักงานเดินเครื่องสันสะท้อนไม่ทั่วถึงทำให้คอนกรีตไหลเข้าไม่ถึงในแบบ	เวลาการจี้และความลึกในการจี้	2
พนักงานเดินเครื่องสันสะท้อน เร็วเกินไป	เวลาการจี้และความลึกในการจี้	2

ตารางที่ 15 ผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D)ความล้มเหลวด้านรู ติบ รูคั้น

สาเหตุ	จุดควบคุม	ระดับคะแนน
พนักงานดึงกระสวนเร็วเกินไป	เวลาในการดึงกระสวน	3
พนักงานลืมนำกระสวนก่อนดึง	จำนวนกระสวนก่อนดึง	5

ตารางที่ 16 ผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D)ด้านการกด

สาเหตุ	จุดควบคุม	ระดับคะแนน
แบบหล่อชำรุดบิดเบี้ยว	รอบเวลาการตรวจสอบแบบ	5

ภายหลังการประเมิน ค่าความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้น (S), โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องจากสาเหตุนั้น (O) รวมถึง ความสามารถในการตรวจจับและ ป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์ตามสาเหตุต่างๆ พร้อมคำนวณค่า RPN ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์กรณีเสาไฟฟ้าแตกร้าว และค่า RPN

ผลิตภัณฑ์ (Product)	ความล้มเหลว (Failure)	ผลกระทบ	S	สาเหตุที่เป็นไปได้	O	จุดควบคุม	D	RPN
เสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร	แตกร้าว	เป็นอันตรายต่อการใช้งาน มีโอกาสเสาไฟฟ้าหักระหว่างการใช้งาน	5	การผสมปูนไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2	อัตราส่วนผสมและการจัดเก็บคอนกรีตภายหลังผสมเสร็จ	1	10
			5	การคัดลอกโครงสร้างของเสาไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	5	การกำหนดลำดับการตัด ลวด ในแต่ละเส้น	3	75

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์กรณีเสาไฟฟ้าแตกร้าว และค่า RPN(ต่อ)

ผลิตภัณฑ์ (Product)	ความล้มเหลว (Failure)	ผลกระทบ	S	สาเหตุที่เป็นไปได้	O	จุดควบคุม	D	RPN
	แตกร้าว (ต่อ)	เป็นอันตรายต่อการใช้งาน มีโอกาสเสาไฟฟ้าหักระหว่างการใช้งาน	5	พนักงานวางเหล็กปลอกไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	1	ตรวจสอบก่อนเทน้ำปูน	1	5
			5	พนักงานยกเสาไฟฟ้าออกจากแบบก่อนแกะแบบหมด	1	จำนวนตัวล็อกแบบที่ถอดแล้วเสร็จ	5	25
	เป็นครีบก	ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อการนำไปใช้งาน ทำให้เกิดอันตรายจากคมของครีบก	3	แบบหล่อคอนกรีตชำรุด	1	ตรวจสอบภายหลังและซ่อมแซมก่อนนำมาใช้	3	9
			3	ประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลิ้มล็อกแบบหล่อ	5	จำนวนจุดล็อกแบบ	5	75
			3	ผสมปูนเหลว	1	ส่วนผสมน้ำปูนและการจัดเก็บก่อนเทลงแบบ	1	3
	หล่อไม่เต็ม	เป็นอันตรายต่อการใช้งานของลูกค้า ทำให้เกิดอันตรายส่งผลให้เสาไฟฟ้าหักในระหว่างใช้งาน	5	พนักงานเดินจี๋เครื่องสั่นสะเทือนไม่ทั่วถึงทำให้คอนกรีตไหลเข้าไม่ถึงในแบบ	5	พนักงานเดินจี๋เครื่องสั่นสะเทือนไม่ทั่วถึงทำให้คอนกรีตไหลเข้าไม่ถึงในแบบ	2	50
			5	พนักงานเดินจี๋เครื่องสั่นสะเทือน เร็วเกินไป	4	พนักงานเดินจี๋เครื่องสั่นสะเทือน เร็วเกินไป	2	40
	รูตึบ-รูตัน	ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อการใช้งาน ในการนำไปใช้ในการป็นเสาไฟ	1	พนักงานตักกระสวน เร็วเกินไป	5	เวลาการตักแม่พิมพ์	3	15
			1	พนักงานลิ้มใส่กระสวน	1	จำนวนกระสวนก่อนตัก	5	5
	คด	ความไม่พึงพอใจของลูกค้า ส่งผลต่อการวางสายไฟ	4	แบบหล่อชำรุด บิดเบี้ยว	1	รอบเวลาการตรวจสอบ	5	20

จากตารางที่ 17 การวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์พร้อมกับระบุผลกระทบของความล้มเหลว (S) สาเหตุที่เป็นไปได้สำหรับความล้มเหลว (O) ซึ่งได้จากการระดมสมองหาสาเหตุของปัญหารวมถึงยังได้ระบุจุดควบคุม (D) เพื่อป้องกันและตรวจสอบความล้มเหลวนั้นพร้อมระบุคะแนนเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่า RPN ภายหลังการวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร พบว่าค่า RPN สูงสุด 2

ลำดับ มีค่า 75 คะแนน คือ เสาไฟฟ้าแตกร้าว จากสาเหตุการตัดลวดโครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และ เสาไฟฟ้าเป็นครีบก จากสาเหตุการประกอบแบบหล่อไม่สนิท ลิ้มล็อกแบบ

3.3.กำหนดมาตรการและดำเนินการปรับปรุง

กำหนดมาตรการการปรับปรุงพร้อมดำเนินการปรับปรุงตามสาเหตุความล้มเหลวแต่ละประเภท ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 การกำหนดมาตรการการปรับปรุงตามสาเหตุหลักตามความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์

รูปแบบความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์	สาเหตุหลัก	มาตรการการปรับปรุง
เสาแตกร้าว	ตัดลวดโครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ดังรูปที่ 2	กำหนดลำดับการตัดลวดเพื่อไม่ให้เกิดความเค้นของเส้นลวดที่ส่งผลต่อตัวเสา
เสาเป็นครีป	ประกอบแบบหล่อไม่สนิท ดังรูปที่ 3	จัดทำสื่เพื่อควบคุมและบังคับการล๊อค ตามหลักการการควบคุมด้วยสายตา (Visual Control)



รูปที่ 2 ลวดโครงสร้างภายในเสาไฟฟ้า

รูปที่ 2 แสดงลวดโครงสร้างภายในเสาไฟฟ้า ที่เพิ่มความแข็งแรงของเสาไฟฟ้า รวมถึงเชื่อมต่อระหว่างเสาไฟฟ้า แต่ละต้น ซึ่งจำเป็นต้องตัดออกภายหลังคอนกรีตแข็งตัว ซึ่งหากลำดับในการตัดลวดผิดจะส่งผลทำให้เสาแตกร้าวได้



รูปที่ 3 การประกอบแบบหล่อไม่สนิท

รูปที่ 3 แสดงแบบหล่อ ที่ประกอบไม่สนิทจำเป็นต้องใช้เศษเหล็กขัดรับกับตัวล๊อคแบบและแบบหล่อ เพื่อให้แบบหล่อประกบกันสนิทพอดี ดังนั้นพนักงานจำเป็นต้องให้ความระวังในการล๊อคแบบหล่อในจุดที่แบบไม่สนิท

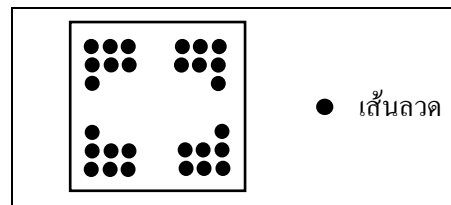
การดำเนินการปรับปรุง

1) ฝึกอบรมพนักงานการตัดลวดเพื่อให้มีการถ่ายแรงดึงของลวด เพื่อป้องกันไม่ให้เสาไฟฟ้าแตกร้าว ดังรูปที่ 4



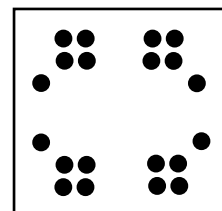
รูปที่ 4 ฝึกอบรมพนักงานเรื่องความสำคัญการตัดลวดและวิธีการตัดลวด

พร้อมกำหนดวิธีการตัดลวดระหว่างเสาไฟฟ้าทั้ง 24 เส้น จำนวน 5 ครั้ง ตามภาพตัดขวางของ เส้นลวดที่อยู่ในเสาไฟฟ้า ดังรูปที่ 5-9



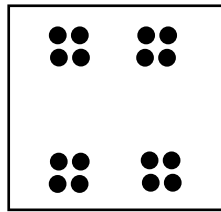
รูปที่ 5 ภาพตัดขวางเสาไฟฟ้า ก่อนการตัดเส้นลวด

การตัดลวดครั้งที่ 1 ตัดลวด 4 มุม มุมละ 2 เส้นในแนวตั้งรวม 8 เส้น



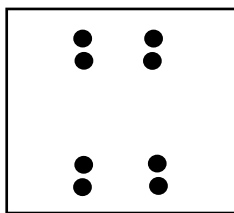
รูปที่ 6 ภาพตัดขวางเสาไฟฟ้า ตัดครั้งที่ 1

การตัดลวดครั้งที่ 2 ตัดลวด ตัดลวด วงนอก 4 เส้น



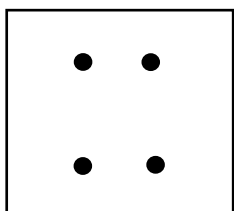
รูปที่ 7 ภาคตัดขวางเสาไฟฟ้า ตัดครั้งที่ 2

การตัดลวดครั้งที่ 3 ตัดลวด ตัดลวด มุมนอก ในแนวตั้ง 4 มุมรวม 8 เส้น



รูปที่ 8 ภาคตัดขวางเสาไฟฟ้า ตัดครั้งที่ 3

การตัดลวดครั้งที่ 4 ตัดลวด ตัดลวด แถวบนสุด 2 เส้น และล่างสุด 2 เส้น

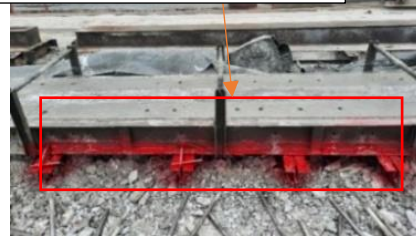


รูปที่ 9 ภาคตัดขวางเสาไฟฟ้า ตัดครั้งที่ 4

และตัดลวด ครั้งที่ 5 เป็นการตัดลวด 4 เส้นที่เหลือ

2) การประยุกต์หลักการควบคุมด้วยสายตาเพื่อเน้นย้ำจุดลื่นไถลแบบ ให้พนักงานลื่นไถลแบบให้สนิทป้องกันน้ำปูนไหลออกมานอกแบบทำให้เป็นครีบทัดหลังขึ้นงานแข็งตัว ดังรูปที่ 10 เนื่องจากตัวลื่นไถลแบบในบางจุดมีความคลาดเคลื่อน บิดงอ สึกหรอ ทำให้บางจุดของการลื่นไถลแบบไม่สนิท เป็นสาเหตุทำให้ น้ำปูนไหลซึมออกมานอกตัวแบบ ทำให้เป็นครีบทัด พร้อมกับทำการตรวจสอบโดยใช้แผ่นเหล็ก (Gage) ตรวจสอบการลื่นไถลแบบ

ใช้สีเพื่อควบคุมการปฏิบัติงาน



รูปที่ 10 ประยุกต์ใช้หลักการควบคุมด้วยสายตากับแบบหล่อคอนกรีต

3.4. การประเมินค่า RPN ใหม่

ภายหลังการปรับปรุงผลการวิจัยทำให้สามารถคัดเลือกความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องสำหรับดำเนินการปรับปรุงโดยพิจารณาจากค่าความเสี่ยงซึ่งนำมาสูงที่สุดคือ 75 สอดคล้อง กับงานวิจัย[5] ที่ประยุกต์ใช้ FMEA คือ คัดเลือกความล้มเหลวจากค่าความเสี่ยงซึ่งนำสูงที่สุด พร้อมกับได้นำสาเหตุของการดำเนินการ จากตาราง FMEA เพื่อใช้ประกอบการแก้ไขและปรับปรุงต่อไป โดยพิจารณาค่าความเสี่ยงซึ่งนำของความล้มเหลวที่ดำเนินการปรับปรุง ผลการปรับปรุง ทำให้สามารถประเมินค่า O และ D ใหม่ ซึ่งพบว่า โดยทำการรวบรวมข้อมูลความล้มเหลวของเสาไฟฟ้า ขนาด 6 เมตร ภายหลังการปรับปรุง ในช่วงระหว่างวันที่ 5 ม.ค. 64-31 มี.ค. 64 มีของเสีย ร้อยละ 2.14 ดัง ตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ร้อยละของความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร

จำนวนของเสีย(ตัน)	ปริมาณการผลิต(ตัน)	ร้อยละของเสีย
77	3,600	2.14

พร้อมเปรียบเทียบผลการปรับปรุง โดยพิจารณาจากร้อยละของเสียของเสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร ก่อนและหลังการปรับปรุงดัง ตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของของเสียของผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้าขนาด 6 เมตร ก่อนและหลังการปรับปรุง

ร้อยละของเสีย (ก่อน)	ร้อยละของเสีย (หลัง)	ร้อยละ การเปลี่ยนแปลง
2.43	2.14	11.93

พร้อมกันนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลร้อยละของความล้มเหลวแต่ละประเภทภายหลังการปรับปรุง ดัง ตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ร้อยละของความล้มหรือข้อบกพร่องของเสาไฟฟ้า ขนาด 6 เมตร ระหว่างวันที่ 5 ม.ค.- 31 มี.ค. 64

ประเภทความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องของเสาไฟฟ้า	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ
เป็นครีบ	35	45.45
แตกร้าว	32	41.55
หล่อไม่เต็ม	5	6.50
รูติบ รูตัน	3	3.90
กด	2	2.60
รวม	77	100.00

จากนั้นรวบรวมความถี่และร้อยละของสาเหตุของความล้มเหลวในแต่ละประเภทเพื่อกำหนดเป็นคะแนนสำหรับประเมินค่า O ภายหลังการปรับปรุง สำหรับความล้มเหลวประเภทแตกร้าว และเป็นครีบ ดัง ตารางที่ 22-23

ตารางที่ 22 ความถี่ของสาเหตุความล้มเหลวประเภทแตกร้าว ระหว่างวันที่ 5 ม.ค.-31 มี.ค. 64

สาเหตุ	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ	คะแนน
พนักตัดเหล็ก โครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	7	20.00	3
พนักงานผสมปูนไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	7	20.00	3
พนักงานยกเสาไฟฟ้าออกจากแบบก่อนแกะแบบหมด	7	20.00	3
พนักงานวางเหล็กปลอกไม่กระจายตามข้อกำหนด	14	40.00	5
รวม	35	100.00	

ตารางที่ 23 ความถี่ของสาเหตุความล้มเหลวประเภทเป็นครีบ ระหว่างวันที่ 5 ม.ค.- 31 มี.ค. 64

สาเหตุ	ความถี่ (ต้น)	ร้อยละ	คะแนน
ประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลึกล็อกแบบหล่อ	8	25.00	3
แบบหล่อชำรุด	17	53.13	4
ผสมปูนเหลว	7	21.87	3
รวม	32	100.00	

จากผลการประเมินค่า O จากสาเหตุของความล้มเหลวประเภทแตกร้าวและเป็นครีบ ภายหลังการปรับปรุง คือ พนักตัดเหล็ก โครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และ ประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลึกล็อกแบบหล่อ ได้ทำการประเมินค่า D จากสาเหตุดังกล่าว ดัง ตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่อง (D) ความล้มเหลวประเภทแตกร้าว และเป็นครีบ

ความล้มเหลว	สาเหตุ	จุดควบคุม	ระดับคะแนน (O)	ระดับคะแนน (D)
เสาไฟฟ้าแตกร้าว	พนักตัดลวด โครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด คือ ตัดผิดลำดับในแต่ละเส้น	การกำหนดการตัดลวดในแต่ละเส้น ผ่านการฝึกอบรม	3	2
เสาไฟฟ้าเป็นครีบ	ประกอบแบบหล่อไม่สนิท/ลึกล็อกแบบหล่อ	จุดล็อกแบบหล่อและการตรวจสอบการล็อกแบบหล่อ	3	2

จากนั้นจึงนำผลการประเมินค่า O และ D ภายหลังการปรับปรุง คำนวณค่าความเสี่ยงขึ้นได้ ดัง ตารางที่ 25 ทั้งนี้ ค่า

S ยังคงเดิมเนื่องจากยังคงเป็นผลกระทบจากประเภทความล้มเหลวเดิม

ตารางที่ 25 ค่าความเสี่ยงซึ่งนำหลังการปรับปรุง

ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์	สาเหตุ	S	O	D	RPN
เสาแตกร้าว	การตัดลวดโครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	5	3	2	30
เสาเป็นครีบ	การประกอบแบบหล่อไม่สนิท	3	3	2	18

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตเสาไฟฟ้า โดยได้ประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์เพื่อพิจารณาคัดเลือกประเด็นปัญหาจากการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบของผลิตภัณฑ์เสาไฟฟ้า โดยคัดเลือกความล้มเหลวของเสาไฟฟ้า จากค่า RPN สูงที่สุด มีค่า 75 คือ ความล้มเหลวจากเสาไฟฟ้าแตกร้าวและเสาไฟฟ้าเป็นครีบ เพื่อดำเนินการปรับปรุง จากสาเหตุที่สำคัญของการเกิดความล้มเหลว คือ สาเหตุการตัดลวดโครงสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวของเสาไฟฟ้า และสาเหตุการประกอบแบบหล่อไม่สนิท ส่งผลทำให้เกิดครีบ จึงได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาการแตกร้าวของเสาไฟฟ้า โดยการฝึกอบรมพนักงานให้เห็นถึงความสำคัญ of ปัญหาการตัดลวดรวมถึงวิธีการตัดลวดที่ถูกต้อง พร้อมกำหนดเป็นมาตรฐานการตัดลวด และจัดทำเป็นคู่มือการปฏิบัติงาน และแก้ไขปัญหาลวดเสาไฟฟ้าเป็นครีบ โดยการประยุกต์ใช้การควบคุมด้วยสายตาเพื่อนำพนักงานในการประกอบแบบให้แน่นในจุดที่ตัวล็อคไม่สนิท ไม่แน่น ผลการปรับปรุงทำให้สามารถลดปริมาณของเสียของเสาไฟฟ้าลดลงร้อยละ 11.93 จากเดิมของเสียของเสาไฟฟ้าร้อยละ 2.43 ลดลงเหลือ ร้อยละ 2.14 ดังนั้นเพื่อเป็นการควบคุมความล้มเหลว จึงกำหนดให้มีการควบคุมสัดส่วนของของเสียในกระบวนการผลการปรับปรุงจากสาเหตุดังกล่าวที่ทำให้เกิดความล้มเหลวประเภทแตกร้าวและเป็น

ครีบ จากสาเหตุการตัดลวดและการล้มล็อคแบบ/ล็อคแบบไม่สนิท ทำให้ความล้มเหลวจากสาเหตุดังกล่าวลดลง ทำให้ค่า RPN ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม หากต้องการลดความล้มเหลวแต่ละประเภทให้ลดลงสามารถพิจารณากำหนดมาตรการตามสาเหตุของการเกิดความล้มเหลวประเภทนั้นๆ ตามตารางการวิเคราะห์ความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นตารางที่ระบุสาเหตุของความล้มเหลวตามการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิแก๊งปลา ซึ่งทำให้สามารถแก้ไขปรับปรุงประเด็นปัญหาหรือความล้มเหลวตามประเภทความล้มเหลวที่ต้องการปรับปรุง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจาก สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน 2 สุพรรณบุรี รวมถึง ข้อมูลและการดำเนินโครงการวิจัยจาก บริษัท สยามโพลีเอนดีโพล จำกัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Electronic has no legs, and the energy path of opportunity and happiness. EGAT, (2021, June 15). [Online]. Available: http://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=3535:20200624art01&catid=49&Itemid=251
- [2] K. Athikulrat and K. Dolpanya, "Defective Reduction in Production Process of Plastic films," *Science and Technology Nakhon Sawan Rajabhat University Journal*, vol. 11, no. 13, pp.41–50, 2018.
- [3] K. Athikulrat and S.Yindeemorph, "Application of Six Sigma to Reduce Waste from Wire Spokes Production Process: A Case Study on Motorcycle Parts Factory," *Research and Development KMUTT*, vol. 43, no. 2, pp. 277–296, 2020.
- [4] K. Athikulrat and S. Jangruxsakul, "Application of Six Sigma to Reduction of waste in Production : Case Study of Metal Plating Factory, " *MUT Journal of Business Administration Review*, vol. 9, No. 2, pp. 1–11, 2019.

- [5] K. D. Shama and S. Srivastava, "Failure mode and effect analysis (FMEA) implementation : a literature review." *Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science*, vol.5, no. 1-2, pp. 1-17, 2018.
- [6] R. Thakore, R. Dave and T. Pasana, "A Case Study: A Process FMEA Tool to Enhance Quality and Efficiency of Bearing Manufacturing Industry," *Scholars Journal of Engineering and Technology*, vol.3, no. 4B, pp. 413-418, 2015.
- [7] H. C. Lui., X. Q. Chen, C. Y. Duan and Y. M. Wang, "Failure Mode and Effect analysis using multi-Criteria decision Making method: A Systematic Literature Review," *Computer and Industrial Engineering*, vol. 135, pp. 881-897, 2020, doi: 10.1016/j.cie.2019.06.055.
- [8] A.P., Subriadi and N. F. Najwa, "The Consistency analysis of Failure mode and Effect Analysis (FMEA) in Information Technology risk assessment," *Heliyon*, vol. 6, pp. 1-12, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03161
- [9] Y. Suthikasaneethon, "A Defect Reduction in a Sline Bottle Blow Moulding and Extrusion Process," M. E. Thesis, Dept. Env. Eng., Sripatum Univ., Bangkok, Thailand , 2017.
- [10] C. Jaison, "Waste Reduction of Semi-Automatic Head Stack Assembly Machine In the Hard Disk Drive Production, " M.E. Thesis, Dept. Indus. Eng., Thammasat Univ., Bangkok, Thailand, 2017.
- [11] T. Sansingchai and P. Mata, "Reducing Waste of Machinery Spare Parts Production Line," B.E. Project, Dept. Indus. Eng., Chaing Mai Univ., Chaing Mai, Thailand, 2019.
- [12] P. Georgi, K. L. Bruce and H. C. Bruce. "Severity of Consequence and Likelihood of Occurrence," *Risk Assessment : A Practical Guide Assessing Operational Risk*, 1th ed. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc., 2016, ch 4, sec 4.10-4.11, pp.76-78.

การลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

Waste Reduction in Bottled Water Production Process

สุวรรณา พลภักดิ์*

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี ขุนทะเล เมือง สุราษฎร์ธานี 84100

Suwanna Ponpakdee *

Department of Industrial Management Technology, Faculty of Science and Technology,

Suratthani Rajabhat University, Khuntale, Muang, Suratthani, 84100, Thailand

*Corresponding Author E-mail: suwanna.pon@sru.ac.th

Received: Aug 03, 2021; Revised: Sep 16, 2021; Accepted: Sep 20, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาและลดความสูญเปล่าโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีน กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของอุตสาหกรรมกรณีศึกษา ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ การเตรียมน้ำ การเติมน้ำลงขวด การบรรจุน้ำลงพาเลท และการจัดส่งสินค้า จากการวิเคราะห์ความสูญเปล่าด้วยแผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบันพบว่า มีความสูญเปล่าเกิดขึ้น 4 ประการ คือ รอคอย (0.9%) เคลื่อนย้าย (1.4%) กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (6.2%) และสินค้าคงคลัง (87.5%) ผู้วิจัยได้ใช้วิธีระดมสมองเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเปล่าและใช้แนวทางการปรับปรุงการทำงานตามหลักการ (ECRS) กำจัด รวมกัน จัดเรียงใหม่ และทำให้ง่ายขึ้น ผลพบว่า แนวทางที่ใช้ลดความสูญเปล่า คือ ออกแบบสเกลนับจำนวนพาเลทที่ขึ้น และออกแบบฟังก์ชันการกรอกข้อมูลในไฟล์เอกซ์เซลให้มีความถูกต้อง เพื่อลดความสูญเปล่าจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม และประยุกต์ใช้ตัวแบบปริมาณการผลิตที่ประหยัดที่สุดของหลอดฟรiform แต่ละขนาด เพื่อลดความสูญเปล่าจากการมีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป จากนั้นสร้างแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคตเพื่อแสดงถึงผลจากการลดความสูญเปล่า โดยเวลานำของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดลดลงจาก 230,598 วินาที เหลือ 228,588 วินาที (ลดลง 33.5 นาที) หรือลดลงร้อยละ 0.88 และต้นทุนสินค้าคงคลังลดลงจาก 18,405 บาท/ปี เหลือ 4,904 บาท/ปี หรือลดลงร้อยละ 73.36

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด, ความสูญเปล่า, แผนผังสายธารคุณค่า, แนวคิดแบบลีน

Abstract

This research aims to investigate and reduce production-related wastes in the bottled water industry of interest by applying lean principles. The production line consists of 4 major processes including water treatment system, water filling line, bottle palletizing and product distribution. In order to identify the wastes, the Value Stream Mapping (VSM) that based on recent processing conditions was adopted. The 4 identified wastes were waiting (0.9%), transportation (1.4%), over processing (6.2%) and inventory (87.5%). The causes of wastes were analyzed by brainstorming for ideas. The ECRS, the lean technique with the following core principles: elimination, combination, rearrangement and simplification, was used to emphasize the potential improvement strategies. The results showed that the waste from the over processing was reduced by the practical scale design for pallet counting and the proper use of MS-Excel spreadsheet

database functions. Then, the waste problem caused by excessive inventory of preform tubes of different sizes was individually taken care of by the most Economic Production Quantity (EPQ) model. Subsequently, the VSM for the future status was formulated to indicate waste reduction results. The lead time of the bottled water production processes was reduced from 230,598 seconds to 228,588 seconds (33.5 minutes reduction). In other words, the reducing time was 0.88%. Moreover, the inventory costs decreased from 18,405 baht/year to 4,904 baht/year which was equivalent to 73.36% reduction.

Keywords: bottled water production processes, wastes, Value Stream Mapping (VSM), lean concepts

1. บทนำ

ความต้องการบริโภคน้ำดื่มบรรจุขวดภายในประเทศไทย มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีสาเหตุมาจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่จำเป็น ผู้บริโภคคำนึงถึงความสะดวกและปลอดภัยของน้ำดื่มมากขึ้น ซึ่งน้ำดื่มบรรจุขวดที่ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับสากลทำให้ผู้บริโภคมีความมั่นใจในการบริโภค จึงมีผลทำให้ตลาดน้ำดื่มบรรจุขวดขยายตัว แต่จากสถานการณ์โควิด 19 (COVID-19) ที่กำลังเกิดขึ้นทั่วโลก ข้อมูลจากการตลาดออนไลน์ [1] พบว่า มูลค่าตลาดน้ำดื่มช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2563 คิดลด 6.6% จาก 17,731 ล้านบาท เหลือเพียง 16,565 ล้านบาท ซึ่งส่วนหนึ่งมาจากมาตรการเว้นระยะห่างทางสังคม (Social Distancing) และการทำงานที่บ้าน (Work from Home) ทำให้ผู้บริโภคใช้ชีวิตนอกบ้านน้อยลง ส่งผลให้การซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดบริโภคนอกบ้านมีจำนวนน้อยลงตามมา นอกจากนี้ตลาดน้ำดื่มบรรจุขวดยังได้รับผลกระทบการหายไปของนักท่องเที่ยวอีกด้วย ดังนั้นอุตสาหกรรมน้ำดื่มบรรจุขวดหลาย ๆ แห่งจึงหันมาให้ความสำคัญกับการลดความสูญเปล่าภายในอุตสาหกรรมของตนเองมากขึ้น เพื่อให้สามารถแข่งขันและดำเนินกิจการอยู่ในสถานการณ์ปัจจุบัน

ความสูญเปล่าจัดเป็นต้นทุนอย่างหนึ่งของอุตสาหกรรม เป็นสิ่งที่อุตสาหกรรมต้องค้นหาและกำจัดทิ้ง ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นกับทุกอุตสาหกรรมที่แฝงในรูปความสูญเปล่า (8-Wastes) ดังนั้นอุตสาหกรรมจึงควรให้ความสำคัญในการกำจัดความสูญเปล่าเพื่อทำให้กระบวนการดีขึ้นและเพื่อลดต้นทุนที่อาจเกิดขึ้นโดยไม่จำเป็น สำหรับอุตสาหกรรมกรณีศึกษาเป็นโรงงานผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด 3 ขนาด คือ 0.33 ลิตร 0.6 ลิตร มีกำลังการผลิต 48,000 ขวด/ ชั่วโมง และขนาด 1.5 ลิตร มีกำลัง

การผลิต 36,000 ขวด/ชั่วโมง โดยประกอบด้วย 4 กระบวนการผลิตหลัก คือ การเตรียมน้ำก่อนผลิต (Water Treatment) การเติมน้ำลงขวด (Water Filling) การบรรจุน้ำลงพาเลท (Bottle Palletizing) และการจัดส่งสินค้า (Product Distribution) ซึ่งงานวิจัยนี้จะประยุกต์แนวคิดแบบลีนเพื่อค้นหาและลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดแบบลีน

แนวคิดแบบลีน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน [2] คือ ระบุคุณค่าตามมุมมองของลูกค้า (Identify Value) สร้างแผนผังสายธารคุณค่า (VSM) สร้างการไหล (Create Flow) สร้างการดึง (Establish Pull) และแสวงหาความสมบูรณ์แบบ (Seek Perfection) เพื่อนำไปสู่การลดความสูญเปล่า โดยวิเคราะห์คุณค่าของกระบวนการตามมุมมองของลูกค้า คือ เพิ่มกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (Value Added: VA) ลดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นแต่ไม่เพิ่มคุณค่า (Necessary but Non Value Added: NNVA) และลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (Non Value Added: NVA) ซึ่งสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่านั้นก็คือ มีความสูญเปล่า 8 ประการซ่อนอยู่จะต้องค้นหาและกำจัดทิ้งไป [3] ประกอบด้วย การมีของเสียหรือแก้ไขชิ้นงาน (Defect) การผลิตมากเกินไป (Over Production) การรอคอย (Waiting) การใช้คนไม่เต็มประสิทธิภาพ (Not using Staff Talent) การขนส่งหรือการเคลื่อนย้ายที่มากเกินไปหรือไม่เหมาะสม (Transportation) การมีสินค้าคงคลัง (Inventory) การเคลื่อนไหวร่างกาย (Motion) และกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (Excessive Processing) งานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีนเพื่อลดความสูญเปล่า เช่น R. S. Barot และคณะ [4] ได้นำแนวทางปฏิบัติแบบ

ลื่นไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องทำน้ำอุ่น โดยประยุกต์ใช้แผนผังสายธารคุณค่า (VSM) และแผนภูมิกระบวนการผลิต โดยการจัดความสูญเปล่าในสายการผลิต ส่งผลให้เวลารอคอย การเคลื่อนย้ายวัสดุลดลง และผลผลิตเพิ่มขึ้น ต่อมาเป็นงานวิจัยของ A. K. Dhingra และคณะ [5] ได้ปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนด้วยแนวคิดลีนไคเซน โดยใช้แผนผังสายธารคุณค่าในบริษัทผลิตสินค้าในประเทศอินเดีย พบว่า ของเสียเป็นศูนย์ ต้นทุนและรอบเวลาการผลิตลดลง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ P. Ribeiro และคณะ [6] ได้ศึกษา งานวิจัยการนำเครื่องมือแบบลีนมาใช้ใน โรงงานผลิตพลาสติก เพื่อลดรอบเวลา เพิ่มผลผลิตในสายการผลิตและลด การร้องเรียนของลูกค้า โดยใช้เครื่องมือแบบลีน เช่น 5ส. งานมาตรฐาน และประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) พบว่า เวลาในการขนส่งลดลงและดัชนีของค่า OEE เพิ่มขึ้น

2.2 การศึกษาการทำงาน

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ใช้เพื่อศึกษาเวลาการทำงานของแต่ละกระบวนการผลิต โดยการถ่าย วิดีโอและจับเวลาในแต่ละงานย่อยอาศัยหลักการจับเวลา โดยตรงแบบวิธีการจับซ้ำ หากงานย่อยใดมีเวลาสั้นกว่า 2 นาที ให้จับเวลาเบื้องต้นมาจำนวน 10 ครั้ง และหากงานย่อยใดมีเวลา มากกว่าหรือเท่ากับ 2 นาที ให้จับเวลามาเบื้องต้นจำนวน 5 ครั้ง บันทึกงานตามที่เกิดขึ้นจริง ใช้สัญลักษณ์กำกับกิจกรรมที่เกิดขึ้น คือ การปฏิบัติงาน การเคลื่อนย้าย การตรวจสอบ การ รอคอย และการจัดเก็บ และสรุปผลลงในแบบฟอร์ม นอกจากนี้ใช้หลักการ ECRS [7] คือ การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) และการ ทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) สำหรับหาแนวทางปรับปรุงวิธีการ ทำงานที่เกิดจากความสูญเปล่า งานวิจัยที่ใช้การศึกษาการ ทำงานสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ เช่น W. Jantana และ W. Sapsanguanboon [8] ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพของ กระบวนการผลิตเซรามิก ด้วยวิธีการสังเกตและศึกษาการ ทำงานจากการปฏิบัติงานจริงร่วมกับการวิเคราะห์ด้วย แผนภูมิกระบวนการไหล แผนภาพการไหล และเครื่องมือของ แนวคิดแบบลีน พบว่า เวลาของกระบวนการผลิตลดลงและ งานวิจัยของ W. Cheewaworanontree และคณะ [9] ได้ศึกษา

เวลาและการเคลื่อนไหวของกระบวนการทดสอบความดัน ระยะสั้นของท่อพีวีซีแข็ง (ท่อปลายเรียบ) พบว่า สามารถ ลดขั้นตอนและเวลาการทำงานของแต่ละงานย่อยลงได้

2.3 กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดเริ่มจากเดิมอากาศเข้าไป ในน้ำเพื่อให้น้ำจับเป็นก้อน ผสมกับแร่ธาตุจนเกิดตะกอน จากนั้นน้ำจะเข้าถึงเพื่อกรองตะกอน กรองเมมเบรนสโได ออกไซด์ (MnO_2) เพื่อกรองพวกจุลินทรีย์ที่มากับน้ำ และผ่าน การกรองที่ระดับอนุภาคต่างๆ ผ่านเชื้อยูวี (Ultraviolet: UV) กรองโดยใช้เยื่อกรองชนิดพิเศษ (Reverse Osmosis System: RO) จากนั้นผ่านการฆ่าเชื้อยูวีอีกครั้ง และเข้าสู่ขั้นตอนการ เติมน้ำลงขวด ปิดฝา ตัดฉลาก บรรจุน้ำลงพาเลท จัดเก็บเพื่อ ส่งให้กับลูกค้า ซึ่งแน่นอนว่าในกระบวนการผลิตดังกล่าว ยังคงมีความสูญเปล่าซ่อนอยู่ ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงานที่ได้ ปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด โดยใช้เครื่องมือที่แตกต่างกันไป เช่น งานวิจัยของ P. Krailomsom และคณะ [10] ได้ศึกษางานวิจัยเรื่องการเพิ่ม ประสิทธิภาพกระบวนการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์น้ำดื่มบรรจุ ขวด โดยใช้แนวคิดไคเซน พบว่า เวลามาตรฐานลดลง และ งานวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วย แนวคิดแบบลีนของ W. Impho และ K. Poonikom [11] ใช้ หลักการ 5WIH และหลักการ ECRS เพื่อแสดงภาพรวมของ กระบวนการผลิตน้ำดื่มประเภทถังน้ำดื่ม 20 ลิตร พบว่า เวลา การทำงาน ขั้นตอนการทำงานและระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เครื่องมือตามแนวคิดแบบลีนมา ประยุกต์ ได้แก่ แผนผังสายธารคุณค่า ความสูญเปล่า 8 ประการ การศึกษาการทำงาน แผนภูมิกระบวนการไหล และ หลักการ ECRS สำหรับเป็นแนวทางปรับปรุงการทำงานเพื่อ ลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุ ขวด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์กิจกรรมตามมุมมอง ของลูกค้า เพื่อกำหนดความสูญเปล่าและเสนอแนวทางการ ลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นโดยมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของอุตสาหกรรมกรณีศึกษา แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก มีรายละเอียดดังนี้

1) การเตรียมน้ำก่อนเข้ากระบวนการผลิต เป็นขั้นตอนปรับสภาพน้ำให้ได้คุณสมบัติตามมาตรฐานคุณภาพ โดยเริ่มตั้งแต่สูบน้ำจากบ่อบาดาล ผ่านตัวกรองที่ระดับอนุภาคต่างๆ เดิมแร่ธาตุ และฆ่าเชื้อ

2) การเติมน้ำลงขวด เป็นขั้นตอนที่เริ่มจากการเป่าหลอดพรีฟอร์ม เติมน้ำลงขวด และปิดฝาขวด

3) การบรรจุน้ำลงพาเลท เป็นขั้นตอนการติดฉลาก ขิงบาร์โค้ด และจัดน้ำลงพาเลท

4) การจัดส่ง น้ำดื่มที่ผลิตเสร็จแล้วจะถูกจัดเก็บไว้ในคลังสินค้า เพื่อรอรถขนส่งมารับและส่งมอบให้กับลูกค้าต่อไป

3.2 จำแนกกิจกรรมของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

ใช้หลักการศึกษาเวลาโดยตรงโดยการจับเวลาเบื้องต้นแต่ละงานย่อยมาจำนวน 10 ครั้ง หรือจำนวน 5 ครั้ง ตามวัฏจักรเวลาของงานย่อยนั้นๆ จากนั้นมาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และค่าพิสัย (R) เพื่อหาจำนวนรอบในการจับเวลาที่เหมาะสมด้วยการเปิดตาราง Maytag โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่น 95% และความละเอียดแม่นยำ $\pm 5\%$ หลังจากนั้นแบ่งกิจกรรมของงานย่อยเป็น 5 ประเภท คือ การปฏิบัติงาน การเคลื่อนย้าย การตรวจสอบ การรอคอย และการจัดเก็บ ซึ่งในขณะเดียวกันกิจกรรมดังกล่าวจะถูกวิเคราะห์คุณค่าตามมุมมองของลูกค้า คือ กิจกรรมที่เป็น VA, NVA และ NNVA

3.3 สร้างแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบัน

แผนผังสายธารคุณค่า คือ การเขียนแผนภาพเพื่อแสดงการไหลของวัสดุและข้อมูลในกระบวนการผลิต และเป็น

เครื่องมือที่ช่วยให้มองเห็นภาพสถานะของกระบวนการในปัจจุบันว่ามีความสูญเสียเปล่าเกิดขึ้นที่ส่วนใดของกระบวนการผลิต โดยการสร้างแผนผังสายธารคุณค่าจะมีการใช้สัญลักษณ์รูปไอคอน (Icon) ที่หลากหลายเพื่อแสดงภาพที่ชัดเจนของกระบวนการ (Visualize Processes) ซึ่งสัญลักษณ์แต่ละตัวจะแทนความหมายเฉพาะและมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความเข้าใจที่ตรงกัน

3.4 วิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

วิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าโดยแบ่งความสูญเสียเปล่านั้นออกเป็นแบ่ง 8 ประการ และวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียเปล่า

3.5 แนวทางในการกำจัดความสูญเสียเปล่า

หาวิธีในการกำจัดความสูญเสียเปล่าที่เหมาะสมและมีความเป็นไปได้ โดยใช้แนวทางในการปรับปรุงการทำงานตามหลักการ (ECRS)

3.6 สร้างแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคต

หลังจากลดความสูญเสียเปล่าต่างๆ ออกไป จะได้แผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคตเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำไคเซนต่อไป

4. ผลการวิจัย

4.1 จำแนกกิจกรรมของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด

จากการจำแนกกิจกรรมของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด สามารถสรุปเวลาของกิจกรรมทั้งหมดได้ดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าเวลารวมของกระบวนการผลิตเท่ากับ 230,598.1 วินาที หรือประมาณ 2.67 วัน นั่นคือ ตั้งแต่รับวัตถุดิบหรือหลอดพรีฟอร์มจนลูกค้าได้รับน้ำดื่มบรรจุขวดต้องใช้เวลา

ตารางที่ 1 เวลาในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดโดยจำแนกตามลักษณะกิจกรรม

กิจกรรม	เวลาของกระบวนการหลัก (วินาที)				เวลารวม (วินาที)	(%)
	เตรียม	เติม	บรรจุ	จัดส่ง		
VA	5.9	0.3	384.4	3,600.0	3,990.5	1.7
NNVA	690.1	326.0	1,735.0	134,160.0	136,911.1	59.4
NVA	1.4	2,395.0	0.0	87,300.0	89,696.4	38.9
รวม	697.4	2,721.3	2,119.4	225,060.0	230,598.1	100

2.67 วัน โดยแบ่งเป็น VA เท่ากับ 3,990.5 วินาที คิดเป็น 1.7% NNVA เท่ากับ 136,911.1 วินาที คิดเป็น 59.4% และ NVA เท่ากับ 89,696.4 วินาที คิดเป็น 38.9%

4.2 แผนผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบัน

จากปริมาณความต้องการของลูกค้าโดยเฉลี่ยประมาณ 2,090,404 ขวด/วัน เวลาการทำงาน 86,400 วินาที/วัน ดังนั้น จังหวะการดึงของลูกค้า (Takt Time) เท่ากับ 0.04 วินาที/ขวด [12] ซึ่งมาจากอัตราส่วนระหว่างเวลาการทำงานต่อวันกับความต้องการของลูกค้าต่อวัน ดังนั้นจากการจำแนกกิจกรรมของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดจากตารางที่ 1 สามารถนำมาสร้างแผนผังสายธารคุณค่าในภาพรวมของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งหมดแสดงตามรูปที่ 1

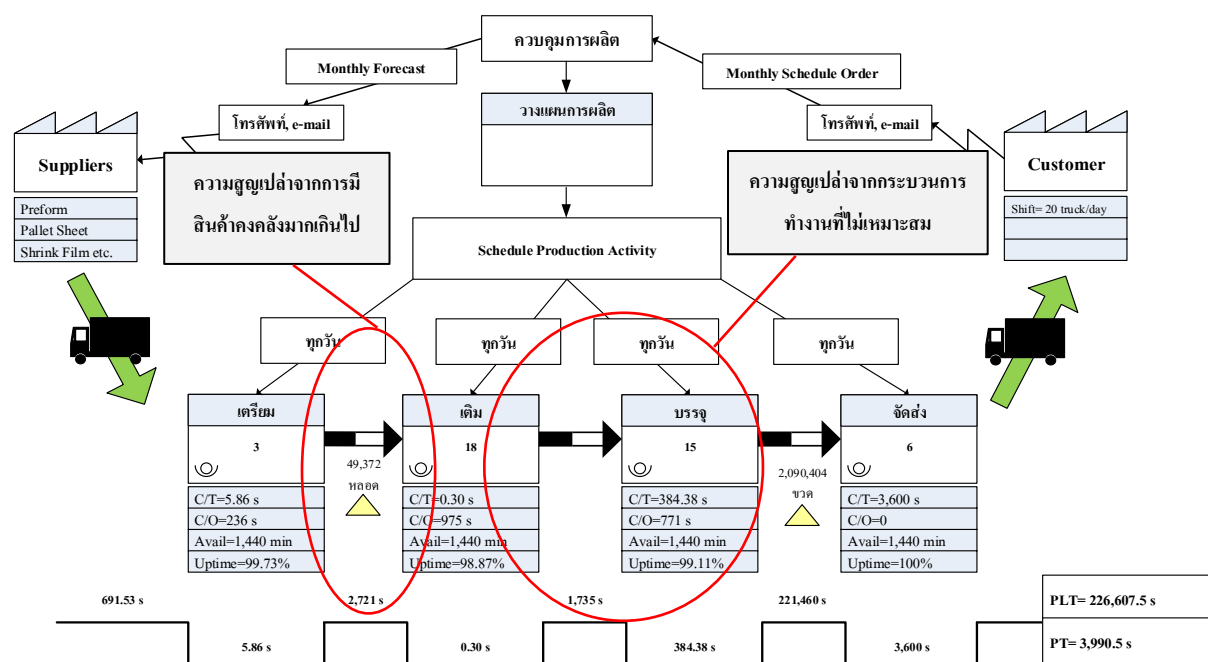
การสร้างแผนผังสายธารคุณค่าเมื่อสิ้นสุดจะได้ค่าเวลานำของกระบวนการผลิต (Production Lead Time: PLT) ซึ่งหมายถึง เวลาของกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (NVA) และเวลาของกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่เพิ่มคุณค่า (NNVA) และแสดงค่าเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Processing Time: PT) หมายถึง เวลาของกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (VA) ให้กับกระบวนการ ดังนั้นเมื่อค่า PLT และค่า PT รวมกันจะทำให้ได้ค่าเวลานำ (Lead Time: LT) ทั้งหมดของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด ดังนั้น เวลานำดังกล่าวมีค่าเท่ากับ

230,598.1 วินาที หรือประมาณ 2.67 วัน สรุปผลได้ดังตารางที่ 2

นอกจากนี้ในแผนผังสายธารคุณค่ายังแสดงรอบเวลาการผลิต (Cycle Time: C/T) ซึ่งได้มาจากการศึกษาเวลาโดยตรงโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล คำนวณรอบการจับเวลาที่เหมาะสม จำนวนคนงานในแต่ละสถานีงานย่อย เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร (Change Over: C/O) เวลาการทำงาน (Available Time) และช่วงระยะเวลาที่เครื่องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Uptime) ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนระหว่างเวลาปรับตั้งเครื่องเทียบกับเวลาการทำงาน และปริมาณสินค้าคงคลังที่อยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของกระบวนการ

ตารางที่ 2 เวลาจากแผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน

ขั้นตอน	เวลา (วินาที)		
	PT	PLT	Lead Time
เตรียม	5.9	691.5	697.4
เติม	0.3	2,721.0	2,721.3
บรรจุ	384.38	1,735.0	2,119.4
จัดส่ง	3,600.0	221,460.0	225,060.0
รวม	3,990.5	226,607.5	230,598.1



รูปที่ 1 แผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน

ดังนั้นจากแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบันพบว่า ความสูญเสียเปล่าที่มองเห็น ได้อย่างชัดเจน คือ สินค้าคงคลัง ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมในรูปที่ 1 และเวลาที่ไม่เพิ่มคุณค่าเกิดขึ้น 226,607.5 วินาที ซึ่งสิ่งนี้คือ ความสูญเสียเปล่าที่มาจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม การรอคอย การเคลื่อนย้าย โดยความสูญเสียเปล่าบางประการจะสามารถมองเห็นจากแผนผังสายธารคุณค่าในระดับกระบวนการผลิตย่อย ซึ่งไม่สามารถแสดงผลในแผนผังสายธารคุณค่าระดับ

ภาพรวมทั้งหมดดังรูปที่ 1

4.3 วิเคราะห์ความสูญเสียเปล่า

1) จากผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบัน ขอบเขตของงานวิจัยศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตภายในโรงงาน จะไม่รวมระยะเวลาในการขนส่งน้ำดื่มไปยังลูกค้าซึ่งใช้เวลาเฉลี่ย 129,600 วินาที ดังนั้นเวลานำของกระบวนการผลิตจะเป็น 100,998 วินาที จากเดิม 230,598.1 วินาที ผลการวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าจากตารางที่ 3 พบว่า

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่า

กิจกรรม	เวลา (วินาที)	(%)	ประเภทของความสูญเสียเปล่า
กิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (VA)	3,990.5	4.0	-
กิจกรรมที่ทำเป็นแต่ไม่เพิ่มคุณค่า (NNVA)	7,311.1	7.2	เคลื่อนย้าย (1.4%) กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (5.8%)
กิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (NVA)	89,696.4	88.8	สินค้าคงคลัง (87.5%) รอคอย (0.9%) กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (0.4%)

กิจกรรม NNVA มีค่าเท่ากับ 7,311.1 วินาที มาจากกิจกรรมการเคลื่อนย้าย การปฏิบัติงาน และกิจกรรมการตรวจสอบ ถึงแม้ว่ามีความสูญเสียเปล่าจากการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้น (1.4%) แต่เป็นสิ่งที่โรงงานจำเป็นต้องมีเพื่อให้การผลิตไหลอย่างสมบูรณ์ จากแผนผังสายธารคุณค่าสถานะปัจจุบัน ในระดับย่อยพบว่า มีกิจกรรมการตรวจสอบคุณภาพน้ำระหว่างการผลิต ตรวจสอบคุณภาพน้ำดื่มที่ผลิตเสร็จแล้ว และตรวจสอบพาเลทชีท (Pallet Sheet) ซึ่งเป็นความสูญเสียเปล่าจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (5.8%) ผลจากการระดมสมองสรุปว่าการตรวจสอบคุณภาพของน้ำดื่มเป็นสิ่งที่กระบวนการผลิตยังคงจำเป็นต้องทำ เพราะหากไม่มีการตรวจสอบอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำดื่มได้ ดังนั้นขั้นตอนการตรวจสอบพาเลทชีท ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการบรรจุน้ำลงพาเลท สามารถหาแนวทางเพื่อลดความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นได้

กิจกรรม NVA เท่ากับ 89,696.4 วินาที ซึ่งมาจากกิจกรรมการจัดเก็บ การรอคอย และการตรวจสอบ จะเห็น

ว่าสัดส่วนที่มากที่สุด คือ ความสูญเสียเปล่าจากการมีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป (87.5%) โดยสินค้าคงคลังดังกล่าวเกิดขึ้นในส่วนของวัตถุดิบ (หลอดฟรียอร์ม) และน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผลิตเสร็จแล้ว ซึ่งสามารถมองเห็นปริมาณการจัดเก็บดังกล่าวจากแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบันตามรูปที่ 1 ความสูญเสียเปล่าที่รองลงมา คือ การรอคอย และกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม คิดเป็น 0.9% และ 0.4% ตามลำดับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอแนวทางการลดความสูญเสียเปล่าเฉพาะความสูญเสียเปล่าที่เกิดจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (5.8%) และการมีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป (87.5%) เนื่องจากมีความสูญเสียเปล่ารวมกันมากถึงร้อยละ 93.3

2) การแบ่งประเภทของความสูญเสียเปล่า

ประเด็นแรกความสูญเสียเปล่าจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม จากขั้นตอนการตรวจสอบพาเลทชีท ซึ่งพาเลทชีท คือ กระดาษรองระหว่างชั้นของน้ำที่บรรจุบนพาเลท แสดงตัวอย่างพาเลทชีทดังรูปที่ 2



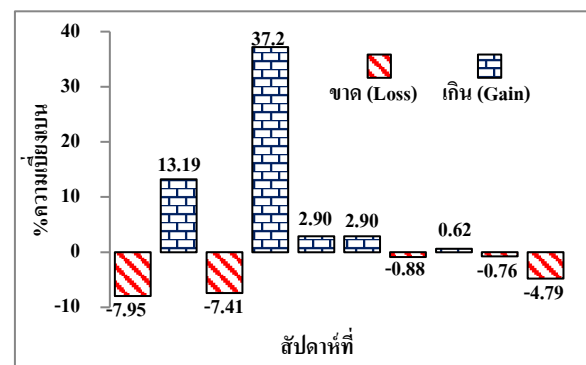
รูปที่ 2 กระดานรองระหว่างชั้นหรือพาเลทซีท

ในความเป็นจริงแล้วพาเลทซีทเป็นสิ่งที่ง่ายที่สุดและ เป็นสิ่งที่เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด แต่ทางโรงงานกลับต้องเจอ กับปัญหาแรก คือ เสียเวลาในการตรวจสอบจำนวนพาเลทซีท ประมาณ 900 วินาที ซึ่งได้มาจากการใช้แผนภูมิการไหลของ กระบวนการ โดยสรุปผลได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลจากแผนภูมิการไหลของกระบวนการตรวจสอบ พาเลทซีทสถานะปัจจุบัน

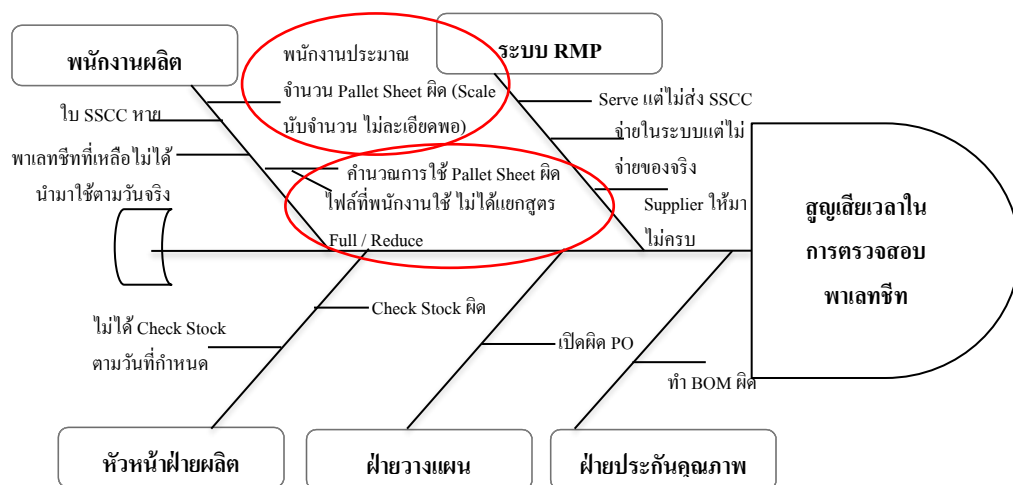
ลำดับ	กระบวนการ	เวลาที่ใช้ (วินาที)	ประเภท กิจกรรม
1	ตรวจสอบจำนวน พาเลทซีท ณ สเกลนับ	240	ตรวจสอบ
2	เดินกลับมายังโต๊ะทำงาน	60 (5 m.)	เคลื่อนย้าย
3	กรอกข้อมูลลงในไฟล์ เอกซ์เซล	420	ปฏิบัติงาน
4	ตรวจสอบข้อมูลใน SAP	180	ตรวจสอบ
รวม		900	

ปัญหาที่สอง คือ จำนวนพาเลทซีทที่พนักงานแจ้งใน ระบบ SAP กับความเป็นจริงที่นำไปใช้มีค่าความเบี่ยงเบน สูง โดยมีค่าขาดและเกินเท่ากับ (-7.95, 37.21) แสดงดังรูป ที่ 3 ทำให้ต้องเสียเวลาในการตรวจสอบจำนวนที่ถูกต้อง จากปัญหาดังกล่าวจะนำไปสู่การวิเคราะห์หาสาเหตุของ ปัญหาโดยผู้วิจัยได้ใช้การระดมสมองร่วมกับบุคคลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล แสดงดังรูปที่ 4 เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ผลพบว่าสาเหตุหลักที่ สามารถนำไปสู่แนวทางการลดความสูญเสียได้

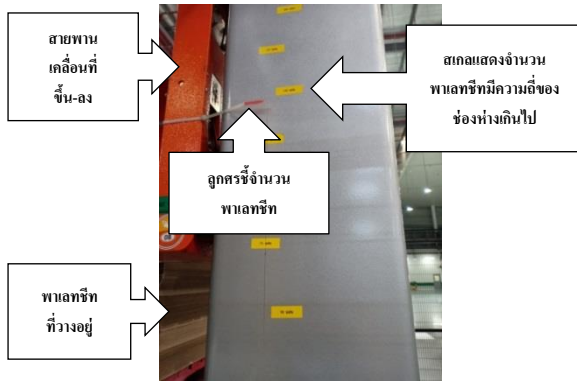


รูปที่ 3 เปอร์เซนต์ความเบี่ยงเบนของจำนวนพาเลทซีท สถานะปัจจุบัน

สาเหตุแรก คือ พนักงานใช้วิธีการประมาณจำนวนพา เลทซีทจากสเกลนับจำนวนที่ไม่ละเอียดพอ แสดงดังรูปที่ 5 จากรูปป้ายสีเหลืองแสดงระดับจำนวนพาเลทซีท ลูกศรสี แดงบนสายพาน (Conveyer) จะเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ตามจำนวน พาเลทซีทที่มีอยู่ ณ ขณะนั้น



รูปที่ 4 แผนผังแสดงสาเหตุและผล



รูปที่ 5 สเกลนับจำนวนพาเลทที่สถานีปัจจุบัน

สาเหตุที่สอง คือ พนักงานคำนวณการใช้พาเลทผิดพลาด เนื่องจากไฟล์ที่ใช้กรอกข้อมูลด้วย Microsoft Excel ไม่สมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 6 ดังนั้นจึงนำสาเหตุดังกล่าวไปแก้ปัญหาลดการเสียเวลาในการตรวจสอบพาเลทชิตต่อไป

Date	Shift	Format	Output(Pack)	SSCC Pallet sheet	Quantity	Zeroloss	%Act. Loss	
15/4/2019	N	0.6L	20889	37336	486	557	12.75%	
	M	0.6L	20811	37336	14	555	97.48%	
				38999	500	-	0.00%	
				38982	42	-	0.00%	
	A	0.6L	28250	38982	458	700	34.57%	
				37350	500	-	0.00%	
	N	0.6L	21867	39026	326	583	44.09%	
	M	0.6L	22083	39026	174	589	70.45%	*กระดาษชิ้น
16/4/2019				37343	500	-	0.00%	
				83082	209	-	0.00%	
	A	0.6L	25850	83082	291	684	57.46%	*กระดาษชิ้น
				83122	500	-	0.00%	
				83139	235	-	0.00%	
	N	0.6L	32458	83139	265	866	69.38%	
				82827	500	-	0.00%	
				82841	173	-	0.00%	

รูปที่ 6 ไฟล์ที่ใช้กรอกข้อมูลพาเลทที่สถานีปัจจุบัน

ประเด็นที่สองความสูญเปล่าจากการมีสินค้าคงคลังมากเกินไป จากแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะปัจจุบันรูปที่ 1 พบว่ามีหลอดฟลูออโรรม (เม็ดพลาสติกที่ผ่านการฉีดและขึ้นรูปเป็นหลอด เพื่อรอเป่าเป็นรูปขวด) รอเข้ากระบวนการผลิต จำนวน 49,372 หลอด โดยแบ่งเป็นหลอดฟลูออโรรมของน้ำบรรจุขวดขนาด 0.33 ลิตร 0.6 ลิตร และ 1.5 ลิตร จำนวน 23,040 หลอด 16,540 หลอด และ 9,792 หลอด ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า Takt Time หรือเวลาในการดึงของลูกค้านำเท่ากับ 0.04 วินาที/ขวด จากจำนวนหลอดฟลูออโรรมดังกล่าว ทำให้เกิดเวลาการรอคอยเท่ากับ 1,975 วินาที ซึ่งเป็นความสูญเปล่าที่สามารถนำไปหาแนวทางแก้ไขได้จากการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุปัญหาพบว่า ปัจจุบันเป็นช่วง

ที่โรงงานกำลังเริ่มต้นทดลองฉีดหลอดฟลูออโรรมเอง ทำให้ไม่มีระบบการจัดการสินค้าคงคลังที่ชัดเจน โดยระดับการผลิตแต่ละครั้งจะขึ้นอยู่กับฝ่ายวางแผนการผลิต

4.4 แนวทางลดความสูญเปล่า

ผู้วิจัยได้ใช้แนวทางการปรับปรุงการทำงานตามหลักการ ECRS ได้ดังผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แนวทางปรับปรุงการทำงานตามหลักการ ECRS

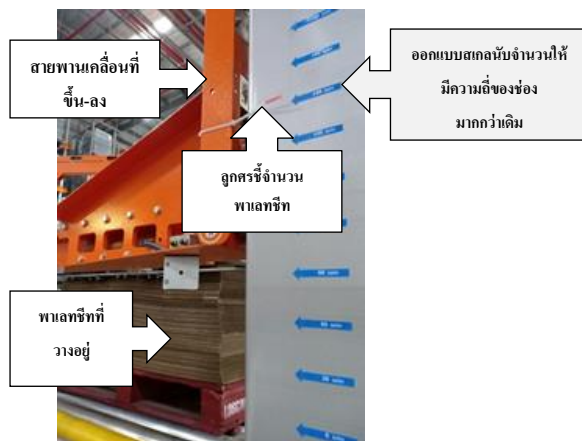
หลักการ ECRS	แนวทางการปรับปรุง
กำจัด (Eliminate)	ปรับจำนวนการผลิตหลอดฟลูออโรรมแต่ละขนาดใหม่ เพื่อลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลัง
รวมกัน (Combine)	-
จัดเรียงใหม่ (Rearrange)	จัดเรียงลำดับและเพิ่มฟังก์ชันช่วยในการกรอกข้อมูลในไฟล์เอกซ์เซลให้มีความสมบูรณ์ เพื่อลดความเบี่ยงเบนของข้อมูล
ทำให้ง่ายขึ้น (Simplify)	ออกแบบสเกลนับจำนวนพาเลทชิตให้ละเอียด เพื่อให้พนักงานอ่านจำนวนได้ง่ายและถูกต้อง

จากตารางที่ 5 พบว่าแนวทางที่ผู้วิจัยจะใช้ในการปรับปรุงการทำงานมี 3 แนวทาง คือ การทำให้ง่ายขึ้น การจัดเรียงใหม่ สำหรับลดความสูญเปล่าจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม และการกำจัดสำหรับลดความสูญเปล่าจากการมีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป โดยผู้วิจัยจะเสนอแนวทางในการลดความสูญเปล่าตามลำดับ ดังนี้

แนวทางลดความสูญเปล่าจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม

1) วิธีการลดความสูญเปล่าผู้วิจัยได้หาวิธีการปรับปรุงแก้ไขปัญหามีวิธีการดังนี้

ออกแบบสเกลนับจำนวนพาเลทชิต ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสเกลนับจำนวนให้มีความละเอียดมากกว่าเดิมเพื่อลดความผิดพลาดในการอ่านค่าจำนวนพาเลทชิตให้กับพนักงาน แสดงสเกลนับจำนวนสถานะอนาคตดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 สเกลนับจำนวนพาเลทชิตสถานะอนาคต

ออกแบบฟังก์ชันการกรอกข้อมูลในไฟล์เอกซ์เซล ให้มีความถูกต้อง เนื่องจากลูกค้าแต่ละกลุ่มจะระบุจำนวน พาเลทชิตที่ต่างกันไป ซึ่งทางโรงงานได้แยกรูปแบบการ รongพาเลทชิตไว้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รูปแบบการรongพาเลทชิต

ขนาด (ลิตร)	จำนวนพาเลทชิตแต่ละรูปแบบ (แผ่น)		
	รongเต็มชั้น	รongลดชั้น Phase 1	รongลดชั้น Phase 2
0.33	8	5	4
0.6	6	4	3
1.5	4	3	3

จากตารางที่ 6 พบว่าพนักงาน ไม่ได้กรอกข้อมูล จำนวนพาเลทชิตให้ตรงกับรูปแบบการรongพาเลทชิต ตามที่โรงงานได้กำหนดไว้ในลูกค้าแต่ละราย ผู้วิจัยจึงได้ เพิ่มฟังก์ชันช่วยในการกรอกข้อมูลให้มีความสมบูรณ์ เพื่อ ลดความเบี่ยงเบนของข้อมูล โดยผลการออกแบบดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 8

จากรูปจะเห็นว่าเมื่อมีการสร้างฟังก์ชันเพิ่มเข้าไป ใหม่ได้มีการกำหนดกลุ่มลูกค้าและขนาดที่ผลิตในแต่ละวัน ซึ่งจะมียอดจำนวนพาเลทชิตที่ใช้ปรากฏขึ้นมาอัตโนมัติ โดย จะมีช่องเปรียบเทียบระหว่างจำนวนพาเลทชิตที่พนักงาน แจ้งใช้กับที่สูตรคำนวณอัตโนมัติ ซึ่งหากทั้งสองคอลัมน์ เท่ากันจะขึ้นสถานะปกติ คือ สีเขียว แต่ถ้าคอลัมน์ P (ช่อง

ที่พนักงานได้ตรวจสอบจำนวน) มากกว่าคอลัมน์ Q (ข้อมูล ในระบบ SAP) จะปรากฏสถานะสีเหลือง คือ Gain และถ้า คอลัมน์ P (ช่องที่พนักงานได้ตรวจสอบจำนวน) น้อยกว่า คอลัมน์ Q (ข้อมูลในระบบ SAP) จะปรากฏสถานะสีแดง คือ Loss ซึ่งจะช่วยพนักงานสำหรับการควบคุมด้วยการ มองเห็น (Visual Control) ระดับจำนวนพาเลทชิตด้วย สายตาได้

A	B	C	D	E	F	G
Date	Shift	PO	Format	Customer	No. Pallet sheet per pallet	list
2/4/2020	M	34173962	1.5 L	Re	3	Batch Pallet sheet SSCC Pallet sheet Quantity
	A	0.33 L 0.6 L 1.5 L		บรรจจวด	4	Batch Pallet sheet SSCC Pallet sheet Quantity
	N	3417394	1.5 L	Full	4	Batch Pallet sheet SSCC Pallet sheet Quantity
3/4/2020	M	34186306	1.5 L	Full		Batch Pallet sheet let sheet
	A	34186	Full Reduce Phase1 Reduce Phase2			let sheet let sheet let sheet
	N	34186307	1.5 L	Darkline Phase1	4	SSCC Pallet sheet

H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	2	3	4	5	Total Pallet	เทน (Pack)	Output (Pack)	Material usage	Actual Usage	Different
14122019	14122019						14250	570	570	0
2850	22850									
260	290									
14122019	14122019	14122019						990	990	0
22850	28381	32391								
210	500	280								
14122019	14122019	23122019								
32913	32145	32081					24750	990	990	0
290	500	200								
23122019	23122019	23122019								
3208	3192	3208							747	-2
23122019	23122019	23122019								
68785	64985	68723					25502	681	680	1
32	500	148								
23122019	23122019	23122019								
68723	68693						24008	641	643	-2
359	291									
23122019	23122019	23122019								
68693	68754	68839					30004	801	802	-1
209	500	93								

รูปที่ 8 ไฟล์ที่ใช้กรอกข้อมูลพาเลทชิตสถานะอนาคต

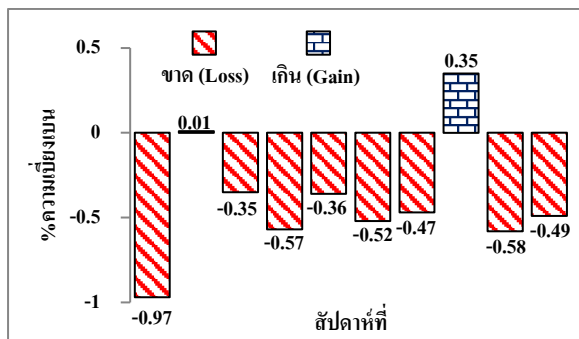
2) ข้อมูลหลังลดความสูญเสียและการควบคุม กระบวนการ

เวลาการทำงานขั้นตอนการตรวจสอบพาเลทชิต หลังปรับปรุง ผลจากการปรับปรุงส่งผลให้เวลาในการ ทำงานลดลง จากการใช้แผนภูมิการไหลของกระบวนการ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 7 จากตารางพบว่า เวลาใน การตรวจสอบจำนวนพาเลทชิตลดลงเหลือ 270 วินาที และ ระยะทางในการเดินของพนักงานลดลงเหลือ 2 เมตร เนื่องจากพนักงานไม่ต้องเดินไปดูสเกลนับจำนวนหลาย รอบจึงลดระยะทางในการทำงานลงด้วย

ตารางที่ 7 ผลจากแผนภูมิการไหลของกระบวนการตรวจสอบ
พาเลทซีทสถานอนาคต

ลำดับ	กระบวนการ	เวลาที่ใช้ (วินาที)	ประเภท กิจกรรม
1	ตรวจสอบจำนวน พาเลทซีท ณ สเกลนับ	60	ตรวจสอบ
2	เดินกลับมายังโต๊ะทำงาน	30 (2 m.)	เคลื่อนย้าย
3	กรอกข้อมูลลงในไฟล์ เอกซ์เซล	120	ปฏิบัติงาน
4	ตรวจสอบข้อมูลใน SAP	60	ตรวจสอบ
รวม		270	

ค่าความเบี่ยงเบนจำนวนพาเลทซีทสถานอนาคต
หลังจากปรับปรุงผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ค่าเบี่ยงเบน
ของจำนวนพาเลทซีท แสดงดังรูปที่ 9 พบว่า เปอร์เซ็นต์ค่า
เบี่ยงเบนของจำนวนพาเลทซีท ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยมี
ค่าขาดและเกินลดลงเท่ากับ $(-0.97, 0.35)$ แสดงว่าวิธีการ
ปรับปรุงสามารถลดปัญหาได้



รูปที่ 9 เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนของจำนวนพาเลทซีท
สถานอนาคต

การควบคุมกระบวนการ จากที่ผู้วิจัยได้มีการ
ออกแบบสเกลนับจำนวนพาเลทซีทและออกแบบฟังก์ชัน
ในไฟล์เอกซ์เซลใหม่ เพื่อกรอกจำนวนการใช้พาเลทซีทให้
พนักงานและอธิบายวิธีการใช้งานให้กับคนที่รับผิดชอบได้
เข้าใจถึง และเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน ผู้วิจัยจึง
จัดทำทริเอนหนึ่งประเด็น (One Point Lesson: OPL) เพื่อ
เป็นเครื่องมือในการสื่อสารให้ความรู้แก่พนักงานได้เรียนรู้
และปฏิบัติตาม

แนวทางลดความสูญเสียจากการมีสินค้าคงคลังมาก
เกินไป จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ผู้วิจัยจึงได้
หาวิธีการปรับปรุงแก้ไขปัญหาโดยการเลือกใช้ตัวแบบ
ปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุดที่มีการเติมเต็มแบบ
ทยอยเข้า (Economic Production Quantity Model: EPQ)
กรณีที่ผลิตและใช้สินค้าคงคลังไปพร้อมกัน [13]

1) สมมติฐานของตัวแบบ งานวิจัยใช้วิธีของ Peterson-
Silver Rule มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของความต้องการ
หรือสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความแปรปรวน
(Variability Coefficient: VC) [14] ดังสมการที่ (1)

$$VC = \frac{n \sum_{t=1}^n D_t^2}{(\sum_{t=1}^n D_t)^2} - 1 \quad (1)$$

โดยที่ D_t คือ ความต้องการหลอดฟลูออโรรมในแต่ละ
เดือน ($n = 12$ เดือน)

ถ้าหากค่า $VC < 0.25$ แสดงว่าระดับความต้องการ
สินค้ามีลักษณะคงที่ สามารถใช้ EPQ ในการคำนวณ
ปริมาณการสั่งผลิตได้

ถ้าหากค่า $VC \geq 0.25$ แสดงว่าระดับความต้องการ
สินค้ามีความแปรปรวน ให้ใช้ Dynamic Lot Sizing Model
ในการหาคำตอบ

จากผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน
(VC) ของความต้องการหลอดฟลูออโรรมแต่ละขนาดแสดง
ดังตารางที่ 8 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของ
ความต้องการของหลอดฟลูออโรรมทั้งสามขนาดมีค่าน้อย
กว่า 0.25 ดังนั้น สามารถใช้ตัวแบบปริมาณการสั่งผลิตที่
ประหยัดที่สุดได้

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน

ขนาด (ลิตร)	$\sum_{t=1}^{12} D_t$	$(\sum_{t=1}^{12} D_t)^2$	$\sum_{t=1}^{12} D_t^2$	VC
0.33	8,294,400	6.88×10^{13}	5.85×10^{12}	0.021
0.6	5,954,400	3.55×10^{13}	2.99×10^{12}	0.014
1.5	3,525,120	1.24×10^{13}	1.06×10^{12}	0.027

2) ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุด (EPQ) หรือ Q สามารถหาได้จากสมการที่ (2) คือ

$$EPQ = \sqrt{\frac{2DP}{H} \times \frac{r}{(r-d)}} \quad (2)$$

โดยที่ D คือ อัตราความต้องการหลอดฟลูออโรรม

P คือ ต้นทุนการสั่งผลิตหลอดฟลูออโรรม

H คือ ต้นทุนการเก็บรักษาหลอดฟลูออโรรม

r คือ อัตราการผลิตหลอดฟลูออโรรม

d คือ อัตราการนำหลอดฟลูออโรรมไปใช้

ปริมาณสินค้าคงคลังสูงสุด (Q_M) สามารถหาได้จากสมการที่ (3) คือ

$$Q_M = \left(\frac{Q}{D}\right) \times (r-d) \quad (3)$$

ต้นทุนสินค้าคงคลัง (Total Cost: TC) สามารถหาได้จากสมการที่ (4) คือ

$$TC = \frac{PD}{Q} + \frac{HQ}{2} \left(1 - \frac{d}{r}\right) \quad (4)$$

3) ผลของตัวแบบแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ EPQ

ตัวแปร	ขนาดหลอดฟลูออโรรม		
	0.33	0.6	1.5
D (หลอด/ปี)	8,294,400	5,954,400	3,525,120
P (บาท/ครั้ง)	16.67	16.67	16.67
H (บาท/หลอด/ปี)	0.33	0.33	0.33
r (หลอด/วัน)	25,000	17,000	10,000
d (หลอด/วัน)	23,040	16,540	9,792
EPQ (หลอด/ครั้ง)	103,375	149,089	130,839
Q_M (หลอด/วัน)	8,105	4,034	2,721
TC (บาท/ปี)	2,675	1,331	898

จากตารางที่ 9 พบว่าหลอดฟลูออโรรมแต่ละขนาดมี

ปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุดเท่ากับ 103,375 หลอด 149,089 หลอด และ 130,839 หลอด ตามลำดับ มีปริมาณสินค้าคงคลังสูงสุด เท่ากับ 8,105 หลอด 4,034 หลอด และ 2,721 หลอด ตามลำดับ และต้นทุนสินค้าคงคลังแต่ละขนาดเท่ากับ 2,675 บาท 1,331 บาท และ 898 บาท ตามลำดับ

4) เปรียบเทียบผลจากการใช้ตัวแบบปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุด พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถ

ลดปริมาณของสินค้าคงคลังได้ จากตารางที่ 10 พบว่าปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลังของหลอดฟลูออโรรมลดลงจากเดิมเท่ากับ 49,372 หลอด เหลือ 14,860 หลอด ส่งผลให้เวลาที่ปรากฏในแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคต ลดลงจาก 1,975 วินาที เป็น 594 วินาที หรือลดลง 1,381 วินาที

ลดต้นทุนสินค้าคงคลัง จากตารางที่ 10 พบว่าเดิมโรงงานกำหนดปริมาณการสั่งผลิตหลอดฟลูออโรรมขนาด 0.33 ลิตร เท่ากับ 23,040 หลอด/ครั้ง ขนาด 0.6 ลิตร เท่ากับ 16,540 หลอด/ครั้ง และขนาด 1.5 ลิตร เท่ากับ 9,792 หลอด/ครั้ง ทำให้มีต้นทุนสินค้าคงคลังรวมทั้งสามขนาดเท่ากับ 18,405 บาท/ปี ดังนั้นเมื่อใช้ตัวแบบปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุดพบว่าต้นทุนสินค้าคงคลังรวมทั้งสามขนาดลดลงเหลือ 4,904 บาท/ปี

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบผลการใช้ EPQ

สถานะ	จำนวน (หลอด)	เวลา (วินาที)	ต้นทุน (บาท/ปี)
ปัจจุบัน	49,372	1,975	18,405
อนาคต	14,860	594	4,904

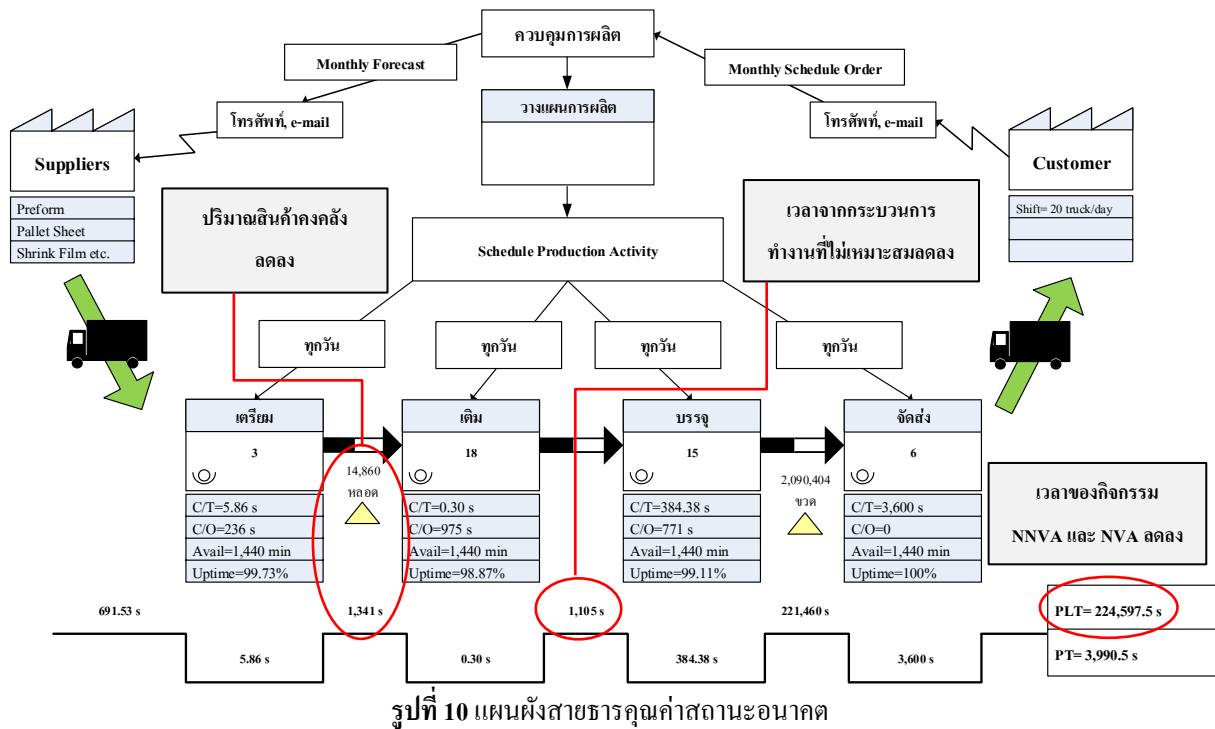
4.5 แผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคต

จากการลดความสูญเปล่าที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้แผนผังสายธารคุณค่าถูกเปลี่ยนไป สามารถสรุปได้ดังนี้

1) กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม ผลของการลดความสูญเปล่า พบว่าเวลาในการทำงานลดลงจาก 900 วินาที เหลือ 270 วินาที ซึ่งเวลาดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของเวลาที่ไม่มีเพิ่มคุณค่า 1,105 วินาที ในแผนผังสายธารคุณค่าสถานะอนาคต

2) การมีสินค้าคงคลังมากเกินไป ผลของการลดความสูญเปล่าทำให้ปริมาณการจัดเก็บหลอดพีเอฟอาร์ลดลงจาก 49,372 หลอด เป็น 14,860 หลอด และเวลาการจัดเก็บลดลงจาก 1,975 วินาที เป็น 594 วินาที ซึ่งเวลาดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของเวลาที่ไม่เพิ่มคุณค่าของกิจกรรมย่อยอื่นรวมกันเป็น

1,341 วินาที แสดงในแผนผังสายธารคุณค่าสถานะอนาคต แสดงดังรูปที่ 10 และผลจากการลดปริมาณสินค้าคงคลังทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังลดลงจาก 18,405 บาท/ปี เหลือ 4,904 บาท/ปี



ดังนั้นจากการลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น เวลานำของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดหลังปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 228,588.1 วินาที หรือประมาณ 2.65 วัน โดยแบ่งเป็นกิจกรรม VA 1.8% กิจกรรม NNVA 59.6% และกิจกรรม NVA 38.6% แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดโดยจำแนกตามลักษณะกิจกรรม

กิจกรรม	ปัจจุบัน		อนาคต	
	เวลา (วินาที)	(%)	เวลา (วินาที)	(%)
VA	3,990.5	1.7	3990.5	1.8
NNVA	136,911.1	59.4	136,281.1	59.6
NVA	89,696.4	38.9	88,316.4	38.6
รวม	230,598.1	100	228,588.1	100

5. สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดสถานะปัจจุบันมีเวลานำเท่ากับ 230,598 วินาที และต้นทุนสินค้าคงคลัง (หลอดพีเอฟอาร์) เท่ากับ 18,405 บาท/ปี จากการใช้แผนผังสายธารคุณค่าทำให้สามารถค้น หาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 4 ประการ คือ รอคอย (0.9%) เคลื่อนย้าย (1.4%) กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (6.2%) และสินค้าคงคลัง (87.5%) งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางลดความสูญเปล่า 2 ประเด็นสำคัญ คือ ประเด็นแรก กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม มีแนวทางในการลดความสูญเปล่า คือ ออกแบบสเกลนับจำนวนพาเลทชิต และออกแบบฟังก์ชันการกรอกข้อมูลในไฟล์เอกซ์เซลให้มีความถูกต้องครบถ้วน ประเด็นที่สอง คือ สินค้าคงคลังมากเกินไป มีแนวทางในการลดความสูญเปล่า คือ หาปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุด

กระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดสถานอนามัย เวลา นำ
ลดลงเหลือ 228,588 วินาที หรือลดลง 2,010 วินาที (33.5 นาที)
คิดเป็นร้อยละ 0.88 และต้นทุนสินค้าคงคลัง (หลอดพีเอฟเอ็ม)
เท่ากับ 4,904 บาท/ปี หรือลดลงร้อยละ 73.36

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้สามารถใช้แผนผังสายธารคุณค่าในการค้นหา
ความสูญเปล่าที่เกิดในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดได้ 4
ใน 8 ประการ ซึ่งจำนวนของความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับ
ลักษณะเฉพาะของแต่ละกระบวนการผลิต และเครื่องมือที่ใช้
ในการค้นหา และแม้ว่างานวิจัยนี้จะสามารถค้นหาและลด
ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นได้ แต่ร้อยละของกิจกรรม VA ยังมี
เพียง 1.8% ซึ่งมีย่าน้อย เมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมผลิตสินค้า
ทั่วไปที่ควรมีกิจกรรม VA อย่างน้อย 5% นั้นหมายความว่า
กระบวนการผลิตยังมีความสูญเปล่าที่สามารถลดได้อีก ดังนั้น
งานวิจัยนี้จึงเป็นจุดเริ่มต้นของโรงงานกรณีศึกษาที่จะ
นำไปใช้สู่การทำไคเซน ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ A.
K. Dhingra และ S. Kumar [15]

5.3 ข้อเสนอแนะการวิจัย

ควรประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer
Simulation Model) เพื่อเลียนแบบกระบวนการผลิต และเป็น
แนวทางในการทวนสอบมาตรการในการกำจัดความสูญเปล่า
ที่เกิดขึ้น เพราะการนำแนวทางในการปรับปรุงไปใช้ในการ
ปฏิบัติจริงบางอย่างอาจทำได้ยาก เช่น ต้องใช้เงินลงทุน
ค่อนข้างสูง จำนวนแรงงานมีจำกัด สถานการณ์โรคระบาด
เป็นต้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว ควรทำการทดลองผ่าน
การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น
ProModel และ Arena เป็นต้น มาเป็นเครื่องมือช่วยให้มองเห็น
ภาพรวมทั้งหมดผ่านแบบจำลองก่อนที่จะนำไปสู่การแก้ไข
ปัญหาจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย พ.ศ. 2563 จาก
มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี และขอขอบคุณโรงงานน้ำ
ดื่มบรรจุขวดกรณีศึกษาที่ได้ให้ข้อมูลวิจัย ตลอดจนสาขาวิชา
เทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี ที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] NALISA, “bottled water market” *marketeeronline.co*.
<https://marketeeronline.co/archives/217681> (accessed Jun.
28, 2021)
- [2] M. Helmold, “Basics in Lean Management,” in *Lean
Management and Kaizen: Fundamentals from Cases and
Examples in Operations and Supply Chain Management*,
Cham, Switzerland: Springer, 2020, pp. 1–14.
- [3] N. Balakrishnan, “Toyota Production System,” in
*Dependability in Medicine and Neurology: Using
Engineering and Management Principles for Better
Patient Care*, Cham, Switzerland: Springer International
Publishing, 2015, pp. 239–260.
- [4] R. S. Barot, K. Raval, H. Beravala and A. Patel,
“Implementation of lean practices in water heater
manufacturing industry,” *Materials Today: Proceedings*,
vol. 38, pp. 2227–2234, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.
2020.06.304.
- [5] A. K. Dhingra, S. Kumar, and B. Singh, “Cost reduction
and quality improvement through Lean-Kaizen concept
using value stream map in Indian manufacturing firms,”
*International Journal of System Assurance Engineering
and Management*, vol. 10, no. 4, pp. 792–800, 2019,
doi: 10.1007/s13198-019-00810-z.
- [6] P. Ribeiro, J. C. Sa, L. P. Ferreira, F. J. G. Silva, M. T.
Pereira and G. Santos, “The Impact of the Application
of Lean Tools for Improvement of Process in a Plastic
Company: a case study,” *Procedia Manufacturing*, vol.
38, pp. 765–775, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.
104.
- [7] Kanitsorn Poonikom, “Efficiency Improvement in
Manufacturing Process by Improvement Technique
Case Study: Drinking Water Bai-Pai-Keaw”, in
Industrial Engineering Networking Conference 2017,
Chiang Mai, Thailand, 2017, pp.150–155.

- [8] W. Jantana and W. Sapsanguanboon, "Productivity Improvement in Ceramic Production Process: A Case Study of Factory in Samut Prakan Province," *Songklanakarin Journal of Management Sciences*, vol. 37, no. 2, pp. 58–83, 2020.
- [9] W. Cheewaworanontree, P. Rontlaong, and N. Boonrak, "Motion and Time Study: A Case Study on A Short-Time Hydrostatic Failure Pressure Testing Process of Rigid PVC Plain-End Pipes," *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*, vol. 6, no. 1, pp. 26–38, 2018.
- [10] P. Krailomsom, T. Miengarom, W. Leelawan "Increasing the Efficiency of the Bottled Water Packaging Process Movement by Using the Kaizen Concept: Case Study Drinking Water Factory," *Industrial Technology Research Journal Phranakhon Rajabhat University*, vol.3, no. 2, pp.1–8, 2020.
- [11] W. Impho and K. Poonikom, "Increasing efficiency in the production process of drinking water using lean technical: Case study of drinking water Thanthip production," *SNRU Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 653–660, 2017
- [12] P. Roh, A. Kunz and K. Wegener, "Information stream mapping: Mapping, analysing and improving the efficiency of information streams in manufacturing value streams," *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, vol. 25, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1016/j.cirpj.2019.04.004.
- [13] N. Thinakaran, J. Jayaprakas and C. Elanchezhian, "Survey on Inventory Model of EOQ & EPQ with Partial Backorder Problems," *Materials Today: Proceedings*, vol. 16, pp. 629–635, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.138.
- [14] A. A. Taleizadeh, V. R. Soleymanfar and K. Govindan, "Sustainable economic production quantity models for inventory systems with shortage," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1011–1020, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.10.222.
- [15] S. Kumar, A. K. Dhingra and B. Singh, "Process improvement through Lean-Kaizen using value stream map: a case study in India," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 96, no. 5–8, pp. 2687–2698, 2018, doi: 10.1007/s00170-018-1684-8.

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับบทความสำหรับวารสารลาดกระบัง

การเตรียมต้นฉบับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารลาดกระบังได้แบ่งประเภทของบทความเป็น 2 ประเภท ได้แก่ บทความทางวิชาการ และบทความวิจัย และได้ให้คำนิยามดังนี้

“บทความทางวิชาการ” หมายความว่า บทความที่เขียนขึ้นในลักษณะวิเคราะห์ วิจัย หรือเสนอแนวความคิดใหม่ ๆ จากพื้นฐานทางวิชาการที่ได้เรียบเรียงจากผลงานทางวิชาการของตนเอง หรือของผู้อื่น หรือเป็นบทความทางวิชาการที่เขียนขึ้นเพื่อเป็นความรู้ทั่วไปสำหรับประชาชน

“บทความวิจัย” หมายความว่า บทความที่มีลักษณะเป็นเอกสารที่มีรูปแบบของการวิจัยตามหลักวิชาการ ได้แก่ มีการตั้งสมมติฐาน หรือมีการกำหนดปัญหาที่ชัดเจนสมเหตุสมผล โดยจะต้องระบุถึงวัตถุประสงค์ที่ชัดเจนแน่นอน มีการค้นคว้าอย่างมีระบบ มีการรวบรวมข้อมูลพิจารณาวิเคราะห์ ตีความ และสรุปผลการวิจัยที่สามารถให้คำตอบบรรลุวัตถุประสงค์ หรือหลักการบางอย่างที่จะนำไปสู่ความก้าวหน้าทางวิชาการ หรือการนำวิชาการนั้นมาประยุกต์ใช้

ผู้แต่งบทความควรเขียนบทความอยู่ระหว่าง 8-14 หน้ากระดาษขนาด A4 โดยส่งหน้าแรกของบทความเป็นแบบระบุชื่อผู้แต่ง 1 หน้า และแบบไม่ระบุชื่อผู้แต่งอีก 1 หน้า บทความที่มีจำนวนหน้ามากกว่าที่กำหนดอาจไม่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของกองบรรณาธิการวารสารลาดกระบัง ทั้งนี้บทความต้นฉบับต้องได้รับการอนุมัติยืนยันจากผู้แต่งร่วมทุกคน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาหรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอื่น ๆ ให้ผู้แต่งส่ง

(1) บทความพร้อมกับ (2) จดหมายนำ (Cover Letter) ที่ระบุ

- ขอบเขต ของบทความว่าสอดคล้องกับขอบเขตของวารสารในหัวข้อใด
- ความสำคัญของหัวข้อบทความหรือปัญหางานจริง
- ปัญหางานวิจัยหรือช่องว่างขององค์ความรู้
- ผลงานวิจัยที่ได้มีความแตกต่างหรือดีกว่างานวิจัยก่อนหน้านี้อย่างไร
- คุณค่าของงานวิจัยที่มีต่อวงวิชาการหรือวิจัย หรือต่ออุตสาหกรรมอย่างไร

บทความจะถูกพิจารณาโดยคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 3 ท่านจากหลากหลายสถาบัน และส่งต้นฉบับบทความในรูปแบบของไฟล์ .doc (Microsoft Word version 2010) และไฟล์ .pdf สามารถส่งบทความได้ในรูปแบบออนไลน์ผ่านทางเว็บไซต์ของวารสารลาดกระบัง <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej> บทความในวารสารลาดกระบังสามารถตีพิมพ์ได้ฟรี ไม่เสียค่าใช้จ่าย ทั้งในรูปแบบออนไลน์และแบบตีพิมพ์เป็นเล่มวารสาร

1. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

1.1. คำแนะนำทั่วไป

บทความต้องมีความยาวประมาณ 8-14 หน้ากระดาษ A4 พิมพ์ด้วย Microsoft Word หรือซอฟต์แวร์อื่น ที่ขนาดตัวอักษรกำหนดได้ใกล้เคียงกัน การตั้งค่าหน้ากระดาษ ให้ระยะหน้ากระดาษ (Margin) ทั้ง 4 ด้านด้วย ระยะ 1 นิ้ว หรือ 2.54 ซม. บทความมี 2 ส่วน ส่วนแรกกำหนด (format) เป็นคอลัมน์เดียว และส่วนที่สองกำหนดเป็น 2 คอลัมน์ โดยระยะห่างระหว่างคอลัมน์เป็น 0.26” หรือ 0.7 ซม. การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่องให้ใช้เลขกำกับบทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย และสามารถดาวน์โหลดรายละเอียดได้ที่ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej>

1.2. แบบและขนาดตัวอักษร ใช้ตัวอักษรแบบ Angsana New ขนาด 14 point ทั้งบทความทั้งบทความภาษาไทย และบทความภาษาอังกฤษ

2. การเรียงลำดับเนื้อหาบทความ สำหรับบทความภาษาไทย

2.1 ชื่อเรื่อง (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ และสื่อความหมายของเรื่องที่ทำอย่างชัดเจน

ตัวอย่างชื่อเรื่อง

ชื่อเรื่องภาษาไทยใช้ตัวอักษร Angsana New ขนาด 20 พอยท์ ตัวหนา จัดกึ่งกลาง

Title in English use Angsana New Size 20 Point, Bold, Center, the First Alphabet in Each Word is Uppercase

2.2 ชื่อ-นามสกุลของผู้เขียนใส่ทุกคน เป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระบุสถานที่ทำงาน สำหรับผู้รับผิดชอบประสานงาน (Corresponding Author) ขนาด 14 พอยท์

ตัวอย่างชื่อ-นามสกุลผู้แต่ง

ชื่อผู้แต่ง นามสกุล¹, ชื่อผู้แต่ง นามสกุล² และ ชื่อผู้แต่ง นามสกุล^{2,*}

¹ สังกัดภาควิชา, คณะ, มหาวิทยาลัย ชื่อตำบล ชื่ออำเภอ ชื่อจังหวัด รหัสไปรษณีย์

² สังกัดหน่วยงาน, บริษัท ชื่อตำบล ชื่ออำเภอ ชื่อจังหวัด รหัสไปรษณีย์

First name Lastname¹, First name Lastname² and First name Lastname^{2,*}

¹ Affiliation Department, Faculty, University, Subdistrict, City, State, Postcode, Country

² Affiliation Department, Company, Subdistrict, City, State, Postcode, Country

***Corresponding Author E-mail:** author_email@email.com

2.3 บทคัดย่อ (Abstract) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษา และผลสรุป มี 1 ย่อหน้า จำนวนคำประมาณไม่เกิน 300 คำ

2.4 คำสำคัญ (Keywords) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ใส่คำสำคัญ 3–5 คำ ไว้ท้ายบทคัดย่อแต่ละภาษา

2.5 เนื้อหา (Text) บทความวิจัยควรประกอบด้วย

- บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือ ที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ และอาจรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)
- วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และทดลองที่กระชับและชัดเจน
- ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน
- อภิปรายผลและสรุป (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความและการวิเคราะห์ในแง่มุมต่างๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้อง หรือขัดแย้งกับผลงานของผู้อื่นอย่างไร

ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุน หรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและ
อาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

2.6 กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement) (ถ้ามี) ระบุสั้นๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุน
วิจัย หรือได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานใด

2.7 เอกสารอ้างอิง (References)

การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลขในวงเล็บก้ามปู[1] เอกสารอ้างอิง
ท้ายบททุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ และการอ้างอิงที่ถูกต้องตามหลัก
วิชาการตามรูปแบบของ IEEE ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบดังต่อไปนี้

กรณีเป็นหนังสือ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of chapter in the book," in *Title of His Published Book*, xth ed. City of Publisher,
(only U.S. State), Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx-xxx.

ตัวอย่าง

- [1] R. E. Blahut, *Theory and Practice of Error Control Codes*, Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1983.
- [2] I.A. Glover and P.M. Grant, *Digital Communications*, 3rd ed. Harlow: Prentice Hall, 2009.
- [3] L. Stein, "Random patterns," in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York, NY, USA: Wiley, 1994, pp. 55-70.
- [4] Westinghouse Electric Corporation (Staff of Technology and Science, Aerospace Div.), *Integrated Electronic Systems*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1970.
- [5] T.M. Lillis and J. Swann, "Giving feedback on student writing," in *Teaching academic writing: a toolkit for higher education*, C. Coffin, Eds. London: Routledge, 2003, pp. 101-129.

กรณีเป็นหนังสือ E-Book

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of chapter in the book," in *Title of Published Book*, xth ed. City of Publisher, State,
Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx-xxx. [Online]. Available: <http://www.web.com>

ตัวอย่าง

- [1] G. O. Young, “Synthetic structure of industrial plastics,” in *Plastics, vol. 3, Polymers of Hexadromicon*, J. Peters, Ed., 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64. [Online]. Available: <http://www.bookref.com>.
- [2] *The Terahertz Wave eBook*. ZOmega Terahertz Corp., 2014. [Online]. Available: http://dl.z-thz.com/eBook/zomega_ebook_pdf_1206_sr.pdf. Accessed: May 19, 2014.
- [3] P. B. Kurland and R. Lerner, Eds., *The Founders' Constitution*. Chicago, IL, USA: Univ. of Chicago Press, 1987. [Online]. Available: <http://press-pubs.uchicago.edu/founders/> Accessed: Feb. 28, 2010.

กรณีเป็นหนังสือแปล

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, “Title of chapter in the book,” in *Title of Published Book*, X. Editor, Ed., xth ed. City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher (in Language), year, ch. x, sec. x, pp. xxx–xxx.

ตัวอย่าง

- [1] K. Ichiro, *Thai Economy and Railway 1885–1935*, Tokyo: Nihon Keizai Hyoronsha (in Japanese), 2000.
- [2] M. Gorkii, “Optimal design,” *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, vol. 12, pp. 111–122, 1961 (Transl.: in L. Pontryagin, Ed., *The Mathematical Theory of Optimal Processes*. New York, NY, USA: Interscience, 1962, ch. 2, sec. 3, pp. 127–135).

กรณีเป็นส่วนหนึ่งของหนังสือ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, “Title of chapter in the book,” in *Title of Published Book*, X. Editor, Ed., City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx–xxx.

ตัวอย่าง

- [1] T. Ogura, “Electronic government and surveillance-oriented society,” in *Theorizing Surveillance: The Panopticon and Beyond*. Cullompton, U.K.: Willan, 2006, ch. 13, pp. 270–295.
- [2] L. Li, J. Yang, and C. Li, “Super-resolution restoration and image reconstruction for passive millimeter wave imaging,” in *Image Restoration—Recent Advances and Applications*, A. Histace, Ed., Rijeka, Croatia: InTech, 2012, pp. 25–45.
- [3] หนังสือ With Editor
- [4] C. Bennett, “What happens when you book an airline ticket? The collection and processing of passenger data post 9/11,” in *Global Surveillance and Policing: Borders, Security, Identity*, E. Zureik and M. Salter, Eds., Cullompton, U.K.: Willan, 2005, pp. 113–138.

กรณีหนังสือที่มีบรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of chapter in the book," in *Title of Published Book*, X. Editor, Ed., City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher, year, pp. xxx–xxx.

X. Editor, Ed. *Title of Published Book*. City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher, year.

ตัวอย่าง

- [1] L. Stein, "Random patterns," in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed., New York, NY, USA: Wiley, 1994, pp. 55–70.
- [2] C. Bennett, "What happens when you book an airline ticket? The collection and processing of passenger data post 9/11," in *Global Surveillance and Policing: Borders, Security, Identity*, E. Zureik and M. Salter, Eds., Cullompton, U.K.: Willan, 2005, pp. 113–138.
- [3] W. R. Leonard and M. H. Crawford, Eds. *Human Biology of Pastoral Populations*. New York, NY, USA: Cambridge Univ. Press, 2002.

กรณีเป็นหนังสือมี Series

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of chapter in the book," in *Title of His Published Book*, X. Editor, Ed., xth ed. City of Publisher, State (only U.S.), Country: Abbrev. of Publisher, year, ch. x, sec. x, pp. xxx–xxx.

ตัวอย่าง

- [1] A. Taflov, *Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method* in Computational Electrodynamics II, vol. 3, 2nd ed. Norwood, MA, USA: Artech House, 1996.
- [2] R. L. Myer, "Parametric oscillators and nonlinear materials," in *Nonlinear Optics*, vol. 4, P. G. Harper and B. S. Wherret, Eds., San Francisco, CA, USA: Academic, 1977, pp. 47–160.

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการ (บทความถูกนำเสนอในการประชุมแล้ว)

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of paper," presented at the Abbreviated Name of Conf., City of Conf., Abbrev. State, Country, Month and day(s), year, Paper number.

ตัวอย่าง

- [1] J. G. Kreifeldt, "An analysis of surface-detected EMG as an amplitude-modulated noise," presented at the 1989 Int. Conf. Medicine and Biological Engineering, Chicago, IL, USA, Nov. 9–12, 1989.

- [2] G. W. Juetten and L. E. Zeffanella, "Radio noise currents on short sections on bundle conductors," presented at the IEEE Summer Power Meeting, Dallas, TX, USA, Jun. 22–27, 1990, Paper 90 SM 690-0 PWRS.
- [3] J. Arrillaga and B. Giessner, "Limitation of short-circuit levels by means of HVDC links," presented at the IEEE Summer Power Meeting, Los Angeles, CA, USA, Jul. 12–17, 1990, Paper 70 CP 637.

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการที่กำลังจะตีพิมพ์ (บทความถูกนำเสนอในการประชุมแล้ว)

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, (location of conference is optional), (Month and day(s) if provided) year, pp. xxx-xxx.

ตัวอย่าง

- [1] W. D. Doyle, "Magnetization reversal in films with biaxial anisotropy," in *1987 Proc. INTERMAG Conf.*, pp. 2.2- 1–2.2-6.
- [2] C. T. Meadow and D. W. Waugh, "Computer assisted interrogation," in *1991 Fall Joint Computer Conf., Proc. AFIPS Conf.*, vol. 29. Washington, DC, USA: Spartan, 1991, pp. 381–394.

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการที่มีเลข DOI

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, (location of conference is optional), year, pp. xxx– xxx, doi: xxx.

ตัวอย่าง

- [1] J. Zhao, G. Sun, G. H. Loh, and Y. Xie, "Energy-efficient GPU design with reconfigurable in-package graphics II. Style—7 memory," in *Proc. ACM/IEEE Int. Symp. Low Power Electron. Design (ISLPED)*, Jul. 2012, pp. 403–408, doi: 10.1145/2333660.2333752.

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการพร้อมสถานที่

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, City, State, Country, year, pp. xxx–xxx.

ตัวอย่าง

- [1] L. S. Carmichael, N. Ghani, P. K. Rajan, K. O'Donoghue, and R. Holt, "Characterization and comparison of modern layer-2 Ethernet survivability protocols," in *Proc. 37th Southeastern Symp. Syst. Theory (SSST 2005)*, Tuskegee, AL, USA, Mar. 20–22, 2005, pp. 124–129

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการพร้อมบรรณาธิการ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.*, X. Editor, Ed. (location of conference is optional), year, pp. xxx–xxx.

ตัวอย่าง

- [1] A. Amador-Perez and R. A. Rodriguez-Solis, "Analysis of a CPW-fed annular slot ring antenna using DOE," in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, in Slot Ring Antennas II, vol. 3, 2nd ed., Jul. 2006, pp. 4301–4304.

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการพร้อมหัวข้อต่อเนื่อง ฉบับ และ บรรณาธิการ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of paper," in *Abbreviated Name of Conf.* in Volume Title, in Series Title, ed., year, pp. xxx–xxx.

ตัวอย่าง

- [1] A. Amador-Perez and R. A. Rodriguez-Solis, "Analysis of a CPW-fed annular slot ring antenna using DOE," in *Proc. IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp.*, in Slot Ring Antennas II, vol. 3, 2nd ed., Jul. 2006, pp. 4301–4304.

กรณีเป็นบทความจากประชุมวิชาการออนไลน์

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author. (Date). Title. Presented at Abbreviated Conf. title. [Type of Medium]. Available: site/path/file

ตัวอย่าง

- [1] V. Chandrasekaran, S. Sanghavi, P. A. Parrilo, and A. S. Willsky. (2009). Sparse and low-rank matrix decompositions. Presented at IFAC 2009. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016388632>

กรณีเป็นฐานข้อมูล Online Dataset ที่มีการอ้างเลข DOI

รูปแบบพื้นฐาน

Title, Source, Date, doi: xxx.

Title, Source, Date, doi: URL.

ตัวอย่าง

- [1] *Treatment episode dataset: Discharges (TEDS-D): Concatenated, 2006 to 2009*, U.S. Department of Health and Human Services, Substance Abuse and Mental Health Services Administration, Office of Applied Studies, Aug. 2013, doi: 10.3886/ICPSR30122.v2.
- [2] *Treatment episode dataset: Discharges (TEDS-D): Concatenated, 2006 to 2009*, U.S. Department of Health and Human Services, Substance Abuse and Mental Health Services Administration, Office of Applied Studies, Aug. 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.3886/ICPSR30122.v2>.

กรณีเป็นฐานข้อมูล Online Dataset ที่มีการอ้างอิงผ่านเว็บไซต์

รูปแบบพื้นฐาน

Title, Source, Date. [Online]. Available: <http://www.url.com>

ตัวอย่าง

- [1] *Treatment episode dataset: Discharges (TEDS-D): Concatenated, 2006 to 2009*, U.S. Department of Health and Human Services, Substance Abuse and Mental Health Services Administration, Office of Applied Studies, Aug. 2013. [Online]. Available: <http://www.icpsr.umich.edu/icpsrweb/SAMHDA/studies/30122/version/2>

กรณีเป็นหนังสือคู่มือ(รูปเล่ม)

รูปแบบพื้นฐาน

Name of Manual/Handbook, x ed., Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, Country, year, pp. xxx-xxx.

ตัวอย่าง

- [1] *Transmission Systems for Communications*, 3rd ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, USA, 1985, pp. 44-60.

กรณีเป็นหนังสือคู่มือ(ออนไลน์)

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author (or Abbrev. Name of Co., City of Co. Abbrev. State, Country). Name of Manual/Handbook, x ed. (year). Accessed: Date. [Online]. Available: <http://www.url.com>

ตัวอย่าง

- [1] L. Breimann. *Manual on Setting Up, Using, and Understanding Random Forests v4.0*. (2003). Accessed: Apr. 16, 2014. [Online]. Available: http://oz.berkeley.edu/users/breiman/Using_random_forests_v4.0.pdf
- [2] M. Kuhn. *The Caret Package*. (2012). [Online]. Available: <http://cranrproject.org/web/packages/caret/caret.pdf>

- [3] *Antenna Products*. (2011). Antcom. Accessed: Feb. 12, 2014. [Online]. Available: <http://www.antcom.com/documents/catalogs/L1L2GPSAntennas.pdf>

กรณีเป็นรายงานรูปเล่ม

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of report," Abbrev. Name of Co., City of Co., Abbrev. State, Country, Rep. xxx, year.

ตัวอย่าง

- [1] K. E. Elliott and C. M. Greene, "A local adaptive protocol," Argonne National Laboratory, Argonne, France, Tech. Report. 916-1010-BB, 7 Apr. 2007.
- [2] J. H. Davis and J. R. Cogdell, "Calibration program for the 16-foot antenna," Elect. Eng. Res. Lab., Univ. Texas, Austin, Tech. Memo. NGL-006-69-3, Nov. 15, 1987.

กรณีเป็นรายงานออนไลน์

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of report," Company, City, State, Country, Rep. no., (optional: vol./issue), Date. Accessed: Date. [Online]. Available: site/path/file

ตัวอย่าง

- [1] Bureau of Meteorology, "Bureau of Meteorology: Measuring Rainfall in Australia," 2009. [Online]. Available: <http://www.bom.gov.au/climate/cdo/about/definitionsrain.shtml#meanrainfall>

กรณีเป็นวิทยานิพนธ์

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of thesis," M.S. thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.

J. K. Author, "Title of dissertation," Ph.D. dissertation, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, year.

ตัวอย่าง

- [1] J. O. Williams, "Narrow-band analyzer," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, USA, 1993.
- [2] N. Kawasaki, "Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow," M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.

กรณีเป็นวิทยานิพนธ์ออนไลน์

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of thesis," M.S. thesis, Abbrev. Dept., Abbrev. Univ., City of Univ., Abbrev. State, Country, year. [Online]. Available: <http://www.url.com>

ตัวอย่าง

- [1] D. Schwartz, "Development of a computationally efficient full human body finite element model," M.S. thesis, Virginia Tech – Wake Forest Univ. School of Biomed. Eng. Sci., Winston-Salem, NC, USA, 2015. [Online]. Available: https://wakespace.lib.wfu.edu/bitstream/handle/10339/57119/Schwartz_wfu_0248M_10697.pdf

กรณีเป็นบทความจากวารสารวิชาการ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, Abbrev. Month, year.

J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, Abbrev. Month, year, doi: xxx.

ตัวอย่าง

- [1] M. F. Elias, "The Relation of Drive to Finger-Withdrawal Conditioning," *Journal of Experimental Psychology*, vol. 70, no. 2, p. 114, 1965.
- [2] J. Attapangittaya, "Social studies in gibberish," *Quarterly Review of Doublespeak*, vol. 20, no. 1, pp. 9-10, 2003.
- [3] J. Fallows, "Networking technology," *Atlantic Monthly*, Jul., pp. 34-36, 2007.
- [4] B. Metcalfe, "The numbers show how slowly the Internet runs today," *Infoworld*, 30 Sep., p. 34, 2006.
- [5] E. Aynoi, N. Nanthakusol, R. Jeenawong, C. Phongcharoenpanich and S. Kawdungta, "Vertical Beam Adjustable Antenna for Internet of Things Applications," *Ladkrabang Engineering Journal*, Vol. 38, No. 2, pp. 7-12, 2021.
- [6] T. Brunswiler et al., "Formulation of percolating thermal underfills using hierarchical self-assembly of microparticles and nanoparticles by centrifugal forces and capillary bridging," *J. Microelectron. Electron. Packag.*, vol. 9, no. 4, pp. 149-159, 2012, doi: 10.4071/imaps.357.

กรณีเป็นบทความจากวารสารวิชาการที่มีรหัสบทความ

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, Abbrev. month, year, Art. no. xxx.

J. K. Author, "Name of paper," (in Language), *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, Abbrev. month, year, Art. no. xxx.

ตัวอย่าง

- [1] L. Kuang et al., "A numerical method for analyzing electromagnetic scattering properties of a moving conducting object," *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2014, 2014, Art. no. 386315, doi: 10.1155/2014/386315.
- [2] E. P. Wigner, "On a modification of the Rayleigh–Schrodinger perturbation theory," (in German), *Math. Naturwiss. Anz. Ungar. Akad. Wiss.*, vol. 53, p. 475, 1935.

กรณีเป็นบทความจากวารสารวิชาการออนไลน์

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Name of paper," *Abbrev. Title of Periodical*, vol. x, no. x, pp. xxx–xxx, Abbrev. Month, year. Accessed: Month, Day, Year, doi: 10.1109.XXX.123456. [Online]. Available: site/path/file

ตัวอย่าง

- [1] W. P. Risk, G. S. Kino, and H. J. Shaw, "Fiber-optic frequency shifter using a surface acoustic wave incident at an oblique angle," *Opt. Lett.*, vol. 11, no. 2, pp. 115–117, Feb. 1986. [Online]. Available: <http://ol.osa.org/abstract.cfm?URI=ol-11-2-115>
- [2] P. Kopyt et al., "Electric properties of graphene-based conductive layers from DC up to terahertz range," *IEEE THz Sci. Technol.*, to be published, doi: 10.1109/TTHZ.2016.2544142.

กรณีเป็นสิทธิบัตร

รูปแบบพื้นฐาน

J. K. Author, "Title of patent," U.S. Patent x xxx xxx, Abbrev. Month, day, year.

J. K. Author, "Title of patent," Country Patent xxx, Abbrev. Month, day, year.

ตัวอย่าง

- [1] K. Kimura and A. Lipeles, "Fuzzy controller component," U. S. Patent 14860040, Dec, 14, 2006.

กรณีเป็นการสืบค้นจากเว็บไซต์

รูปแบบพื้นฐาน

First Name Initial(s) Last Name. "Page Title." Website Title. Web Address (retrieved Date Accessed).

ตัวอย่าง

- [1] J. Gerald, "Sega Ends Production of Dreamcast," vnunet.com. <http://nli.vnunet.com/news/1116995>. (Accessed Sept.12, 2007).
- [2] J. Smith and J. Doe. "Obama inaugurated as President." CNN.com. http://www.cnn.com/POLITICS/01/21/obama_inaugurated/index.html (Accessed Feb. 1, 2009).

2.8 ภาคผนวก (ถ้ามี)

ภาคผนวกเป็นส่วนของเนื้อหาที่ใช้สำหรับการรวบรวมข้อมูล หรือผลการศึกษารอง ที่จะช่วยรับรองหลักการ หรือผลการศึกษาหลัก ควรมีการอ้างอิงภายใน เนื้อหาของภาคผนวก เพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ง่าย ผู้แต่งสามารถแบ่ง ภาคผนวกออกเป็นหลาย ๆ ส่วนได้ เช่น ภาคผนวก 1 แสดงถึงการรวบรวม ข้อมูลจากการสำรวจ ภาคผนวก 2 แสดง การรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงาน ภาครัฐและเอกชน เป็นต้น

2.9 ตารางและรูป และสมการ

การแทรกตารางและรูป และสมการ ต้องมีความคมชัดไม่น้อยกว่า 300 dpi ให้ แทรกไว้ในเนื้อหาบทความ มีคำอธิบายประกอบสั้นๆ ที่สามารถสื่อความหมาย ได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ

กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่...” และมี คำอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง

กรณีที่เป็นรูปให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า“รูปที่...” และมีคำอธิบายใส่ไว้ได้ รูป กรณีมีรูปหลายรูปที่จะแสดงในครั้งเดียว ให้แบ่งรูปภาพด้วยตัวอักษร (ก), (ข), (ค) สำหรับบทความภาษาไทย และ ตัวอักษร (a), (b), (c) สำหรับบทความ ภาษาอังกฤษ

กรณีเป็นการแทรกสมการ ให้ระบุลำดับที่ของสมการไว้ทางด้านขวาของสมการ ภายในวงเล็บ เช่น (1) และการอ้างอิงในเนื้อหา ให้ใช้คำว่า สมการที่ (1)

3. เกณฑ์การพิจารณาบทความ

เกณฑ์การพิจารณาบทความสำหรับวารสารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตนี้มีดังนี้ เนื้อหาของ บทความมีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีคุณค่าทางวิชาการ เนื้อหา มีความสมบูรณ์ และ

โครงสร้างภาษาที่ใช้มีความชัดเจน ถูกต้องตามหลักทางวิชาการ ทั้งสมมุติฐาน / วัตถุประสงค์ การนำเสนอมีความชัดเจนกระชับ และการจัดรูปแบบของบทความ การอภิปรายผล และการอ้างอิงที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้นๆ อย่างน้อย 3 ท่าน ซึ่งกองบรรณาธิการอาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และสงวนสิทธิ์ในการตัดสินใจพิมพ์หรือไม่ก็ได้ และเมื่อบทความได้รับการแก้ไข (หากมี) อย่างเหมาะสม ผู้เขียนต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยส่งเป็นไฟล์งาน .pdf และ .doc เป็น Word 2010

4. วิธีการส่งบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารลาดกระบัง

บทความที่ส่ง เปิดรับทั้งจากบุคคลภายใน และภายนอกสถาบันฯ โดยบทความนั้น ต้องมีความยาวไม่เกิน 14 หน้า 2 คอลัมน์ ผู้เขียนจะต้องส่งต้นฉบับ 1 ชุด โดยหน้าแรกของบทความจะมีชื่อที่อยู่ของผู้เขียน 1 หน้า และหน้าแรกของบทความที่ไม่ระบุชื่อผู้เขียนอีก 1 หน้า รวมทั้งหมด 15 หน้า และกรุณาระบุชื่อ-นามสกุล ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ต่อ และ E-mail address ใช้ชัดเจนในแบบฟอร์มการส่งบทความด้วย ผู้เขียนสามารถส่งผ่านระบบวารสารออนไลน์ โดยลงทะเบียนและส่งบทความ ผ่านทางเว็บไซต์ของวารสารลาดกระบังได้ที่ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>

ผู้ประสานงานและสถานที่ติดต่อ:

นางสาวชนัญชิตา นอบน้อม

งานวิจัยและนวัตกรรม (ส่วนวารสารลาดกระบัง)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ อาคาร 6 ชั้น (ตึก A) ชั้น 2 เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง

เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail : kmitl.eng.jnl@gmail.com

หมายเลขติดต่อ :

โทรศัพท์(เบอร์กลาง) 02-329-8000 ต่อ 3465

โทรศัพท์สายตรง/โทรสาร : 02-327-8317

โทรศัพท์มือถือ 086-106-4414



เลขที่อ้างอิง.....

แบบฟอร์มการส่งบทความ

วันที่ส่ง.....

ชื่อบทความ (ภาษาไทย).....

ชื่อบทความ(ภาษาอังกฤษ).....

ประเภทบทความ ☐ บทความวิชาการ ☐ บทความวิจัย

Keywords (คำสำคัญ).....

ชื่อ - นามสกุล ผู้เขียน (ภาษาไทย)	และ	(ภาษาอังกฤษ)
1.....	1.....	
2.....	2.....	
3.....	3.....	

จำนวนหน้า.....หน้า

ชื่อและที่อยู่ผู้เขียนที่สามารถติดต่อได้

ชื่อ - นามสกุล.....

ที่อยู่.....

เบอร์โทรศัพท์..... E-mail.....

ข้าพเจ้าได้แนบบทความที่มีความถูกต้องสมบูรณ์ตามคำแนะนำรูปแบบการเขียนบทความมาพร้อมนี้ และรับรองว่า

- ☐ ได้รับความเห็นชอบในการส่งบทความครั้งนี้จากผู้ร่วมเขียนบทความแล้ว (ถ้ามี)
- ☐ ข้าพเจ้า และผู้ร่วมเขียนบทความ (ถ้ามี) จะรับผิดชอบเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของต้นฉบับในทุกกรณี
- ☐ ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความยังไม่เคยตีพิมพ์ หรืออยู่ระหว่างการพิจารณาเพื่อขอรับการตีพิมพ์ในวารสารอื่น

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งสามารถประเมินบทความของท่านได้ จำนวน 2 ท่าน โดยระบุชื่อ-นามสกุล ตำแหน่งทางวิชาการ, E-mail และเบอร์โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้)

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1. ชื่อ-นามสกุล..... | ตำแหน่งทางวิชาการ..... |
| E-mail : | โทรศัพท์..... |
| 2. ชื่อ-นามสกุล..... | ตำแหน่งทางวิชาการ..... |
| E-mail : | โทรศัพท์..... |

ใบรับรอง

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
ตำแหน่ง.....สถานที่ทำงาน.....
ที่อยู่.....
โทรศัพท์.....มือถือ.....โทรสาร.....
e-mail : Line :
ขอรับรองว่า(นาย/นาง/นางสาว).....
เป็นนิสิต/นักศึกษามหาวิทยาลัย.....ปีการศึกษา.....
ระดับปริญญา.....ชั้นปีที่ จริง และได้พิจารณาบทความแล้วว่ามีความเหมาะสมที่จะ
ขอเสนอเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมลาดกระบัง

***กรณีที่เป็นนิสิตนักศึกษา ต้องให้อาจารย์ที่ปรึกษากรอกใบรับรอง (วิทยานิพนธ์ / การศึกษาค้นคว้าอิสระ)

Ladkrabang Engineering Journal

The Ladkrabang Engineering Journal is a technical journal belonging to the School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, (KMITL).

The objectives are to:

1. publish high quality research papers in the field of engineering and technology at national and international levels
2. disseminate research works and development in the field of engineering and technology
3. be a medium of exchanging research works and new body of knowledge in the field of engineering and technology among students, researchers, lecturers, and interested persons
4. be an archive of research reports and articles that are interesting and valuable in the field of engineering and technology.

Frequency:

The journal is published quarterly.

Policy:

Articles and reports should have engineering research values whether containing substantial supported theories, innovative works, substantial experiment results and/or fulfilled with useful and constructive discussions or reviews standardized to regional or international acceptance.

Manuscripts:

Manuscripts can be written in either Thai or English, complying with the journal format, which are ready to be submitted in camera ready form. To ensure that all papers are at the same standard, authors are asked to prepare their manuscripts using Microsoft Word for windows. Others associated components such as graphs or figures should be prepared using windows-based packages.

For convenience in printing and to common standard in publication, submitted manuscripts should conform to the following orders.

Titles: Should be given in both Thai and English.

Author and co-authors: Are given without any title.

Correspondent address: Specify short address of authors. If authors are students, institution address (department, faculty and institution) is required.

Abstract: Should be given in both Thai and English.

Main theme: Should contain the following sections.

1. Introduction
2. Theory
3. Construction and experimental procedures
4. Experimental results and discussions
5. Conclusion or Summary

Acknowledgement: (if required)

References: Should follow the pattern given below.

- [1] P. Choeysuwan and S. Choomchuay, "The Economics Analysis of RFID Implementation in Logistic," Ladkrabang Engineering Journal, vol.30, no.1, pp.7-12, March, 2556.
- [2] I. M. Filanovsky and H.P. Baltes, "Simple CMOS Analog Square-Rooting and Squaring Circuits," IEEE Trans. Circuits and Systems, vol.39, no.4, pp.312-315, Sept., 1992.
- [3] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes, Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.

Submission:

Manuscripts from inside and outside King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang can be submitted to the journal. The first page of the manuscript contains the authors' names and complete affiliations. Please duplicate the first page of the manuscript with the names and affiliations made anonymous. The manuscript length is between 8-14 pages of A4. The manuscript that exceeds the length limitation may not be considered for publication depending on the editorial judgment. Please also clearly fill out name-surname, address, phone number, and e-mail address in the submission form. Authors can submit their manuscripts online via the journal system at the url: <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/lej/about/submissions>.

Published by:

School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Tel: (662) 329-8000 Ext. 3464, 3465

Fax: (662) 329-8317

Advisors:

Dean School of Engineering

Assoc.Prof.Dr.Somyot Kaitwanidvilai

Editor-in-chief:

Prof.Dr.Uma Seeboonruang

Associate Editor:

Assoc.Prof.Dr.Jakrapong Pongpeng

Assistant Editor:

Dr.Pinit Tanachaichoksirikun

Editorial Staff:

Miss.Chanunchida Nobnom

Liaise & Member Relationships

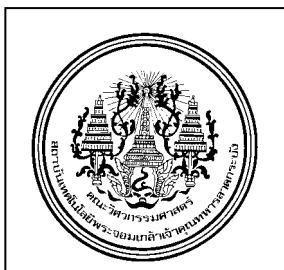
Create Original Artwork

Mr.Virun Chulkaivalsucharit

Proofreading and Photo Books

Mr.Thanongsak Chaichuensaen

Cover Design



ISSN 0125-1724 (Print)

ISSN 2730-3888 (Online)

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

Volume 38 Number 3

September 2021

Research Papers

1. Electro-Static Discharge Reduction in Silicone Filter Process using Faraday Cage with Ground Technique 1
K. Lertlam and C. Photong
2. Performance Enhancement of Highway Subproject Management 11
W. Srisomboon N. Wongwai S. Malaikrisanachalee and
S. Weravattanayingyong
3. Effect of Biodiesel-ethanol Fuel Blends on Performance and Combustion Characteristics in a Small Diesel Engine during Start of Engine 24
K. Iempremjit
4. Applying the Model of Goal-Directed Behavior to Explain Cycling Behaviors Characterised by Traveler's Gender and Car Ownership in Chonburi Urban Areas 33
C. Intanu and S. Piriawat
5. A Study of Factors of Human Resource Management Influencing the Performance of Thai Infrastructure Contractors Using Structural Equation Modeling 53
C. Kawapapong and N. Kokkaew
6. Application of Failure Mode and Effects Analysis to Reduce Wastes Power Pole Production Process 63
K. Athikulrat S. Jangruxsakul and J. Plychumpol
7. Waste Reduction in Bottled Water Production Process 77
S. Ponpakdee