



# วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

**JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**  
SUKHOTHAI THAMMATHIRAT OPEN UNIVERSITY

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม–ธันวาคม 2565



ISBN 2773-9600 (Online)



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University



# วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ปีที่ 2 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2565 – ธันวาคม 2565

Journal of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

---

## ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

ดร.สิทธิชัย รัชยศโยธิน

ประธานกรรมการประจำ

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## บรรณาธิการ

ดร.ศรันย์ นาคณอม

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

## ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสิทธิ์ เจียรบุตร

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

## กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปรมพร เขมวูฒม์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐรงค์ จตุรัส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี อีธรรมมาร

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย วลีธรรมพิสวัสดิ์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิมพา ประเสริฐศิลป์

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ดร.เดชรัฐสิณป์ เพี้ยชัย

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

## รายนามคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ประจำฉบับ

รองศาสตราจารย์ ดร.จุฬพล บำรุงวงศ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงศ์ศรัณย์ บุญโญปกรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฏฐพงศ์ จตุรัส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทรัตน์ กิ่งแสง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ

ดร.พงษ์เทพ ภูเดช

ดร.ศักดิ์ชาย รักการ

ดร.วิษณุวัตร งามสะอาด

ดร.ลดาวรรณ สว่างอารมณ์

ดร.เชษฐภรณ์ ลิลาศรีศิริ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

## ฝ่ายบริหารจัดการประจำปี

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

9/9 หมู่ 9 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

โทรศัพท์ : 02-5048191 – 3 โทรสาร : 02-5034932

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานการวิจัยและผลงานวิชาการให้ทันสมัยและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นทางวิชาการให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการ
3. เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการของบุคลากรทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย

## กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ (มกราคม – มิถุนายน, กรกฎาคม– ธันวาคม) ของทุกปี

## ลักษณะของบทความ

1. ครอบคลุมในหัวเรื่องวิชาการและวิจัย
2. บทความที่นำเสนอต้องมีแนวทางสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าของการศึกษา เศรษฐกิจ และสังคมโดยรวม
3. บทความที่นำเสนอต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการอื่นใดมาก่อน
4. ผู้เขียนจะต้องรับผิดชอบในข้อเขียน ข้อคิดเห็นของผู้เขียนต่อข้อกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นต่อบทความนั้น

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ฉบับนี้เป็นปีที่ 2 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม- ธันวาคม 2565 ซึ่งเป็นที่ 2 ของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญคือการเป็นพื้นที่ในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ รวมถึงเป็นเวทีในการแลกเปลี่ยนแนวคิดให้กับคณาจารย์และนักวิชาการทั่วไป เพื่อส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพทางวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยฉบับนี้ได้มีการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการจำนวนทั้งสิ้น 6 บทความ ซึ่งทุกบทความได้ผ่านการประเมินคุณภาพ อย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิตามศาสตร์สาขาที่เกี่ยวข้องจากหลากหลายสถาบัน ทำให้มั่นใจได้ว่าผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่นี้มีคุณภาพสามารถนำไปศึกษาค้นคว้า อ้างอิง รวมถึงนำไปใช้ประโยชน์ในทางปฏิบัติได้ต่อไป

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิจากหลากหลายสถาบัน ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการประเมินคุณภาพของบทความเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ ขอขอบคุณนักวิชาการที่ให้ความไว้วางใจส่งผลงานเข้ารับการเผยแพร่ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการที่จะกระตุ้นความคิดและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้อันจะนำมาซึ่งกระบวนการทัศน์ทางความคิด รวมถึงให้องค์ความรู้ดังกล่าวทำหน้าที่ในการพัฒนาสังคมและประเทศชาติต่อไป

ดร.ศรันย์ นาคณอม

บรรณาธิการ



## สารบัญ

|                                                                                                    | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม.....                                             | 1    |
| สมรรถณ เทริยณนามวงศ์ และ ศักดิ์ชัย รักการ                                                          |      |
| 2. การศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายและถ่านกะลามะพร้าว.....                            | 12   |
| วชิราภรณ์ คำออน, สุนิรัตน์ พุกตะ และ แววบุญ แยมแสงสังข์                                            |      |
| 3. การวิเคราะห์กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินด้วยวิธี FHWA (1999).....                      | 23   |
| อติเทพ ศรีคงศรี, ดำรง รังสรรค์, โชติไกร ไชยวิจารณ์, วิกรม พนิกการ และ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ        |      |
| 4. การพัฒนาโมเดลพยากรณ์สำหรับปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม..... | 32   |
| นัทวุฒิ ชันธกลีกรรม, ศรัณย์ นาคณอม และ เดชศรัณณศิลป์ เพียชัย                                       |      |
| 5. การจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาบริษัทรับเหมาติดตั้งระบบดับเพลิงภายในอาคาร.....                  | 45   |
| ศิริลักษณ์ แก้วนวล, ศักดิ์ชัย รักการ, และ สำเริง เนตรภู                                            |      |
| 6. การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว.....                                  | 55   |
| ลัดดา ทองชูช่วย, วรรัตน์ ปัตตประกร และ แววบุญ แยมแสงสังข์                                          |      |

## การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม Reducing waste in the production of aluminum glass frames

สมรรถณ เหรียญนามวงศ์<sup>1</sup> และ ศักดิ์ชาย รักการ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ

แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Samattharon Rangnamvong<sup>1</sup> and Sakchai Rakkran<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Graduate School, Master of Engineering Program in Engineering Management

Kasem Bundit University, Pattanakarn Campus 1761 Pattanakarn Rd.,

Suanluang Bangkok 10250, Thailand

E-Mail samattharon2475@gmail.com

วันที่รับบทความ 24 สิงหาคม 2565

วันแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม ประเภทเสาอลูมิเนียมที่เกิดขึ้นในกระบวนการตัดชิ้นงานอลูมิเนียม เจาะชิ้นงานอลูมิเนียม และบากชิ้นงานอลูมิเนียมจากเครื่อง CNC โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (QC Tool) ในการค้นหาสาเหตุและเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2564 จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทั้ง 3 กระบวนการเป็นระยะเวลาตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2564 พบว่า มีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมทั้งหมด 5,061 ชิ้น หรือเฉลี่ยที่ 4.4% ต่อเดือน ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 3,036,600 บาทต่อเดือน โดยสาเหตุหลักพบว่า เครื่อง CNC ตัดชิ้นงาน เครื่อง CNC เจาะชิ้นงาน มีปัญหาตัดชิ้นงานไม่ได้ระยะและองศา ระยะรูเจาะไม่ตรงตาม Center ตามที่แบบกำหนด และบากชิ้นงานที่ลึกเกินกว่าแบบ การศึกษานี้จึงได้เสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และการออกแบบวัสดุควบคุมชิ้นงาน (jig fixture) เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบัน

ผลการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดการเกิดของเสียประเภทเสาอลูมิเนียมที่เกิดจากการตัดชิ้นงานที่ไม่ได้องศา เจาะชิ้นงานไม่ตรง Center และบากชิ้นงานที่ลึกเกินกว่าที่แบบกำหนด จากเดิมเฉลี่ย 4.4% ต่อเดือนลดลงเหลือ 1.7% ลดลงได้ถึง 61.36% และคิดจากจำนวนของเสียที่ลดลงจากเดิม 5,061 ชิ้น ลดลงเหลือ 1,111 ชิ้นสามารถลดได้ 3,950 ชิ้น มีมูลค่าที่ประหยัดต้นทุนบริษัทคิดเป็นจำนวนเงินโดยเฉลี่ย 2,370,000 บาท (1 ชิ้น เฉลี่ยเท่ากับ 5 Kg) ในรอบ 2 เดือน ถ้าคิดเป็นปริมาณการสูญเสียรายปี จะเท่ากับ 14,220,000 บาทต่อปี

**คำสำคัญ:** การลดของเสีย, เครื่องจักรอัตโนมัติ, กระบวนการผลิตอลูมิเนียม, การซ่อมบำรุงเชิงพยากรณ์, การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน

## ABSTRACT

The objective of this study was to reduce waste in the aluminum glass frame manufacturing process. aluminum pole types formed in the process of cutting aluminum workpieces. punching aluminum workpieces and notch aluminum workpieces from CNC machines using quality control tools (QC Tool) to find the cause and to improve the quality in the production process February 2021 to March 2021, from the data collection of waste generated in all 3 production processes for the period from November 2020 to January 2021. It was found that there were 5,061 pieces of aluminum glass frame manufacturing waste, or an average of 4.4% per month which is worth 3,036,600 baht per month There is a problem with cutting the workpiece in the distance and degree. The hole distance does not match the center as specified and notching the workpiece that is deeper than the model This study therefore proposed a predictive maintenance system Preventive maintenance and jig fixture design to reduce waste in the existing production process.

The improvement effect can reduce the incidence of aluminum column type waste caused by non-degree cutting. Drilling the workpiece out of the center and notching the workpiece that is deeper than the specified from an average of 4.4% per month, down to 1.7%, down to 61.36% and based on the amount of waste reduced from 5,061 pieces, reduced to 1,111 pieces, can reduce 3,950 pieces There is an average cost savings of 2,370,000 baht (1 piece, average 5 Kg) in the past 2 months If the amount of annual loss is calculated, it is 14,220,000 baht per year.

**Keyword:** Waste Reduction, CNC Machines, Aluminum Processes, Predictive Maintenance, Preventive Maintenance

## 1. บทนำ

การบริโภคอลูมิเนียมทั่วโลกได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องมาหลายปีและมีแนวโน้มจะยังคงเพิ่มขึ้นต่อไป ซึ่งเป็นผลมาจากความต้องการใช้อลูมิเนียมที่มากขึ้นจากฝั่งเอเชียรวมไปถึงการใช้อลูมิเนียมที่เพิ่มขึ้นในอุตสาหกรรมยานยนต์และยานอวกาศ ทั้งนี้ ความต้องการอลูมิเนียมทั่วโลกนั้นคาดว่าจะเติบโตอยู่ที่ประมาณ 2.0% ถึง 3.8% ต่อปีในช่วงปี 2562-2567 หรือคิดเป็นปริมาณเพิ่มขึ้นจาก 60 ล้านตันในปัจจุบันและคาดว่าจะไปอยู่ที่ระดับ 72 ล้านตันภายในสิ้นปี 2567 สำหรับประเทศไทย อีไอซี หรือ Economic Intelligence Center (EIC) ประเมินว่าความต้องการใช้อลูมิเนียมมีแนวโน้มขยายตัว 5% ขึ้นไปอยู่ในระดับเกินกว่า 1 ล้านตัน ในปี 2018 และเติบโตต่อเนื่องในระยะกลาง

ดังนั้นในการศึกษานี้ผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงความสำคัญการลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม โดยเข้าไปศึกษาปัจจัยและสาเหตุที่มีโอกาสทำให้เกิดของเสียขึ้น ได้แก่ คน วิธีการทำงาน เครื่องจักรอุปกรณ์ และกำหนดวิธีการแก้ไขที่สาเหตุดังกล่าวเพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและถือเป็นการเพื่อผลผลิตและศักยภาพในการแข่งขันให้กับองค์กร

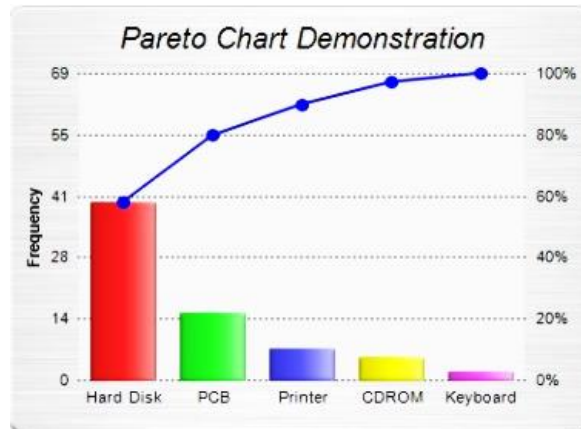
## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาการลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตบานกระจกอลูมิเนียม
- 2.2 เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตบานกระจกอลูมิเนียม
- 2.3 เพื่อประยุกต์ใช้หลักการด้านการจัดการและทฤษฎีการจัดการงานวิศวกรรม สำหรับการปรับปรุงเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตบานกระจกอลูมิเนียม

### 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

ผังพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น ผังพาเรโต (ทวี บุญกำเนิด, 2553) ประกอบด้วย แกน X เป็นจำนวนของเสีย มูลค่าความเสียหาย หรือความถี่ของการเกิดของเสีย และแกน Y เป็นชนิดของความบกพร่อง ตำแหน่งที่พบความบกพร่อง หรือเครื่องจักรที่เกิดจุดบกพร่อง ดังรูปที่ 1



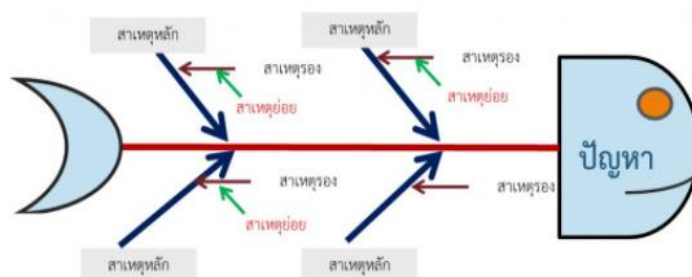
รูปที่ 1 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต

ประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโต คือ

1. ช่วยแยกปัญหาใหญ่ออกจากปัญหาเล็กทำให้มองเห็นภาพรวมของปัญหา
2. ช่วยเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา ทำให้สะดวกในการพิจารณาเลือกปัญหาที่สำคัญมาทำการแก้ไข ซึ่งโดยปกติจะนำปัญหาที่อยู่ภายใต้เปอร์เซ็นต์สะสม 80 เปอร์เซนต์มาทำการแก้ไขก่อน (80:20)
3. ช่วยเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของปัญหาก่อนและหลังการปรับปรุงงานว่าดีขึ้นหรือไม่และมากน้อยเพียงใด

#### 3.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยประโยชน์ของการใช้ ผังก้างปลา นอกจากจะทำให้รู้ถึงสาเหตุของปัญหาแล้ว ยังเป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น ความชำนาญและประสบการณ์ของสมาชิกในกลุ่ม สามารถนำไปใช้ได้กับทุกประเภทของปัญหา และทำให้สามารถมองเห็นภาพรวมและความสัมพันธ์ของสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา (ธนฤช ชุ่นเซ่ง, 2556)



รูปที่ 2 ตัวอย่างแผนภูมิ ก้างปลา

ประโยชน์ของแผนภูมิแก๊งปลา คือ

1. ช่วยให้สามารถวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาได้อย่างละเอียดมากขึ้น มีเหตุและผลอย่างละเอียดสามารถเข้าใจถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหานั้น ๆ ได้อย่างตรงจุด
2. ช่วยระดมความคิดเห็นจากสมาชิกที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดความคิดที่หลากหลายในการแก้ปัญหา

### 3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เก็บรวบรวมข้อมูลได้จากการดำเนินการทดลอง พบว่า การลดของเสียในสายการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมเป็นไปตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ โดยใช้การกำหนดและวางมาตรการการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในเครื่องจักร ซึ่งจากเดิมการเปลี่ยนอุปกรณ์จะต้องรอระยะเวลาตามแผนซ่อมบำรุง ที่ได้วางไว้แต่เนื่องจากการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมมียอดการผลิตชิ้นงานที่ไม่คงที่ ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดอบรมให้ความรู้กับพนักงาน และรูปแบบการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในเครื่องจักรให้สอดคล้องกับยอดการผลิตในแต่ละเดือน โดยใช้การกำหนดการเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักรแบบคาดการณ์ล่วงหน้า (Predictive and Preventive Maintenance) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธวัชชัย บัวระภา (2562) ในการเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิตส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของสายการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 52.8 เป็นร้อยละ 70.9 และค่าอัตราความพร้อมในการใช้งานเครื่องจักร เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 55.6 เป็นร้อยละ 72.2 ชีรนนท์ สุทธธรรมรัตน์ (2562) และได้ใช้หลักทฤษฎี 7 Qc Tool มาใช้วิเคราะห์ในกระบวนการลดของเสียการตัดชิ้นงานอลูมิเนียมหลังการปรับปรุงพบว่า ปริมาณของเสียประเภทเศษตัดอลูมิเนียมมีค่าลดลง จากมูลค่าเฉลี่ย 123,247 บาทต่อเดือน ลดลงเหลือ 60,637 บาทต่อเดือน คิดเป็น 50% ของมูลค่าของเสียที่สามารถลดได้ จูไรรัตน์ ลาสุลิ (2559) ได้ดำเนินการปรับปรุงด้วยกิจกรรมกลุ่มควบคุมคุณภาพและได้นำเครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ มาใช้ในการดำเนินกิจกรรมก่อนการปรับปรุงมีจำนวนของเสียประเภทสวิตช์ควบคุมกระจกมองข้างจำนวน 3,825 ตัวและหลังปรับปรุงของเสียลดลงเป็นศูนย์ และเพื่อลดของเสียในการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมใน 3 กระบวนการ คือ การตัดชิ้นงานอลูมิเนียม เจาะชิ้นงานอลูมิเนียม และบากชิ้นงานอลูมิเนียมและภายหลังปรับปรุงการลดของเสียในกระบวนการข้างต้นแล้วนั้น พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจากเดิมก่อนปรับปรุง และภายหลังการปรับปรุงลดลงถึง 61.36% ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

**4.1 ขั้นตอนการศึกษา** ในการดำเนินการผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษาและขั้นตอนการผลิตบานกระจกอลูมิเนียม
2. ศึกษาสภาพปัญหาที่และวิเคราะห์สภาพปัญหาของกระบวนการผลิตที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด
3. กำหนดวิธีการในการแก้ไขปัญหา
4. ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหา
5. สรุปผลและนำเสนอผู้ที่เกี่ยวข้อง

**4.2 ขั้นตอนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม** กระบวนการผลิตจะแบ่งเป็น 3 กระบวนการหลัก ได้แก่

1. กระบวนการผลิตชิ้นส่วนกรอบกระจก ประกอบด้วย 3 แผนกย่อย คือ
  - ตัด เป็น ขั้นตอนการตัดชิ้นงานประเภทเสาอลูมิเนียมให้ได้ตามแบบที่กำหนด
  - เจาะ เป็น ขั้นตอนการเจาะชิ้นงานประเภทเสาอลูมิเนียมให้ตรงตามระยะที่แบบกำหนด
  - บาก เป็น ขั้นตอนการบากชิ้นงานประเภทเสาอลูมิเนียมให้ได้ระยะภายในของหัวบานและท้ายบาน
2. กระบวนการประกอบชิ้นรูปกรอบกระจก
3. กระบวนการวางกระจกและบรรจุ ประกอบด้วย 4 แผนกย่อย คือ

- วางกระจก เป็น ขั้นตอนการวางกระจกที่ได้ถูกกำหนดไว้ตามขนาดของกรอบกระจกและชนิดของกระจก โดยทั่วไปจะใช้กระจกอยู่ 2 ชนิดคือ Insulated Glass และ Laminated Glass
- ฉีด และ ปาด Silicon เป็น ขั้นตอนต่อจากการวางกระจกเสร็จแล้วจึงทำการฉีดและปาด โดยทั่วไปจะถูกกำหนดสีของ Silicon ที่ใช้ต้องเป็นสีเดียวกับกรอบกระจก
- ทาน้ำยา Potexsion เป็นน้ำยาเคลือบกระจก เพื่อป้องกันกระจกเกิดการชำรุดเสียหาย
- บรรจุ เป็นขั้นตอนการนำกรอบกระจกใส่กล่อง เพื่อนำส่งไชร้งานและติดตั้ง โดยจะทำการบรรจุอย่างแน่นหนาเพื่อนำส่งไชร้งานได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม

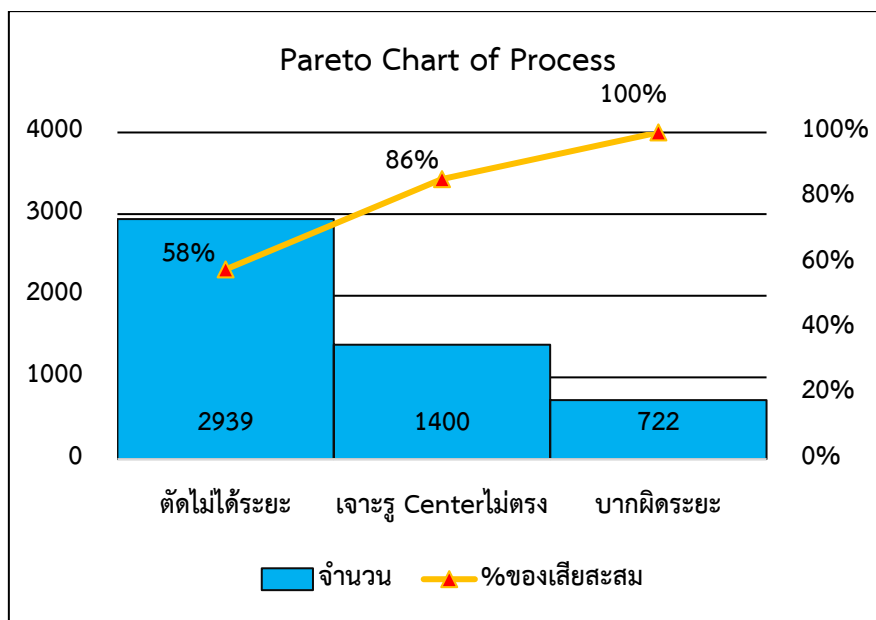
#### 4.3 สภาพปัญหา

จากการเข้าศึกษาสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น พบว่า ในทุกกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม นั้นมีของเสียเกิดขึ้นในทุกขั้นตอนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกเข้าศึกษาและเลือกแก้ปัญหาใน 3 กระบวนการเท่านั้น คือ การตัดชิ้นงานอลูมิเนียม , เจาะชิ้นงานอลูมิเนียม และ บากชิ้นงานอลูมิเนียม และสามารถสรุปภาพรวมเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อนการแก้ไขปรับปรุง ในช่วงวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ.2563 ถึงวันที่ 31 มกราคม พ.ศ.2564 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางของเสียแต่ละประเภทในเดือน พฤษภาคม - มีนาคม 2564

| ตารางของเสีย พฤษภาคม - มีนาคม 2564 |         |               |          |                      |          |            |          |
|------------------------------------|---------|---------------|----------|----------------------|----------|------------|----------|
| เดือน                              | ยอดผลิต | ตัดไม่ได้ระยะ | %ของเสีย | เจาะรู Center ไม่ตรง | %ของเสีย | บากผิดระยะ | %ของเสีย |
| 30-11-63                           | 45,765  | 899           | 1.96     | 641                  | 1.40     | 268        | 0.58     |
| 31-12-63                           | 43,567  | 1289          | 2.95     | 401                  | 0.92     | 206        | 0.47     |
| 31-1-64                            | 28,269  | 751           | 2.65     | 358                  | 1.26     | 248        | 0.87     |

เมื่อผู้วิจัยได้ข้อมูลของเสียแต่ละประเภทที่ทำการศึกษาแล้ว จึงได้วิเคราะห์ตามทฤษฎีของแผนภูมิพาเรโต สามารถจัดลำดับประเภทของเสียจากมากไปหาน้อยได้ดังรูปที่ 4 พบว่าเปอร์เซ็นต์ของสัดส่วนการเสียของกระบวนการตัดชิ้นงาน จัดอยู่ในอันดับแรกของปัญหาเท่ากับ 58% เจาะรู Center ไม่ตรงเท่ากับ 28% และบากผิดระยะเท่ากับ 14%



รูปที่ 4 ผังพาเรโตวิเคราะห์ของเสียเดือน พฤศจิกายน - มกราคม พ.ศ.2564

ลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นจาก 3 กระบวนการแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะของเสียใน 3 กระบวนการ

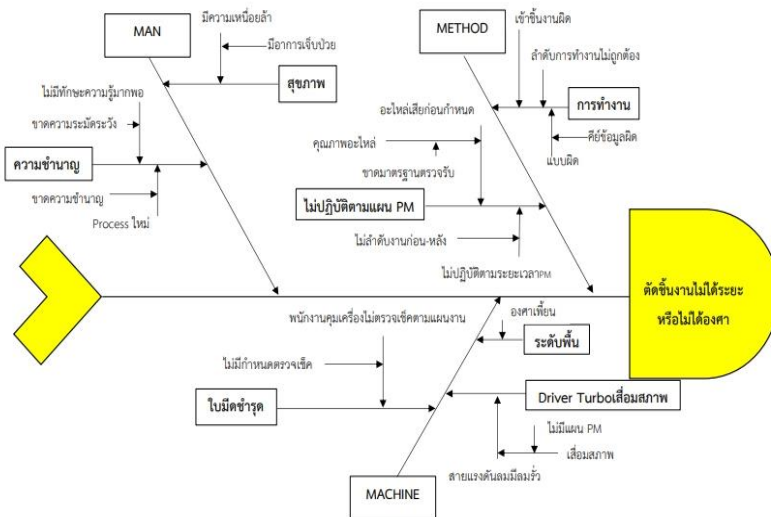
| ลักษณะของเสีย                            | ภาพของเสีย                                                                          | รายละเอียด                                                                |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1. การตัดชิ้นงานอลูมิเนียม               |  | เกิดจากใบมีดตัดไม่คม<br>เกิดจากมีตัวประกอบชิ้นงานเพียงแกน X เพียงแกนเดียว |
| 2. เจาะชิ้นงานอลูมิเนียม Center รูไม่ตรง |  | เลือกใช้วัสดุตัววางชิ้นงานไม่ถูกต้อง                                      |
| 3. บากชิ้นงานอลูมิเนียมผิดระยะ           |  | ไม่มีกำหนดหนดเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร                       |

#### 4.4 สาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขและปรับปรุง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นใน 3 กระบวนการและทำการวิเคราะห์เห็นว่ากระบวนการตัดชิ้นงานด้วยเครื่องตัด CNC มีการเกิดของเสียมากที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนของบริษัท และระบบการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมใน

ภาพรวม จึงได้ทำการวิเคราะห์หารายละเอียดถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา รวมถึงกำหนดแผนการปรับปรุงแก้ไขในส่วนของการตัดสินใจงานอูมิเนียมไม่ได้จนสาเหตุและระยะ เนื่องจากเป็นปัญหาลำดับแรกตามแผนภูมิพาเรโต

การวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการของแผนผังก้างปลา โดยแยกเป็นสาเหตุจากคน (Man) วิธีการทำงาน (Method) และเครื่องจักร (Machine) ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุในกระบวนการตัดสินใจงานอูมิเนียม

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา พบว่าควรแก้ปัญหาในกระบวนการตัดสินใจงานอูมิเนียมเป็นกระบวนการแรกเพราะการเริ่มผลิตกรอบกระจกอูมิเนียมนั้น การตัดสินใจงานเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการผลิตกรอบกระจกอูมิเนียม ซึ่งการแก้ไขปรับปรุงในกระบวนการตัดสินใจงานสำเร็จจะส่งผลทำให้ของเสียในอีก 2 กระบวนการลดลงไป คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดวิธีการแก้ไขปัญหามาไว้ 3 ส่วนหลัก ๆ มีดังนี้

### 1. สาเหตุที่เกิดจากคน ปรับปรุงแก้ไขโดย

- 1.1 จัดอบรมหลักสูตร “การใช้งานเครื่องจักรในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอูมิเนียมเบื้องต้น”
- 1.2 จัดอบรมหลักสูตร “การดูแลรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิต”
- 1.3 จัดทำแบบทดสอบพนักงานก่อนและหลังการได้รับการอบรม เพื่อประเมินความรู้ของพนักงาน

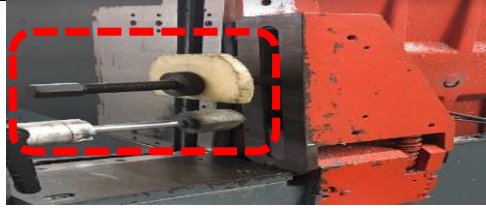
### 2. สาเหตุที่เกิดจากวิธีการ ปรับปรุงแก้ไขโดย

- 2.1 กำหนดขั้นตอนและวิธีปฏิบัติงานเพื่อการบำรุงรักษาเครื่องจักร และเพื่อแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต
- 2.2 กำหนดการบำรุงรักษาแบบคาดการณ์ล่วงหน้าในอุปกรณ์ที่มีความผิดปกติและวิธีแก้ไขเบื้องต้น เพื่อค้นหาข้อบกพร่องและการแจ้งซ่อมอุปกรณ์ของเครื่องจักรเมื่อพบความผิดปกติ

### 3. สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร ปรับปรุงแก้ไขโดย

- 3.1 ปรับปรุงอุปกรณ์ภายในเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพการใช้งานมากยิ่งขึ้นจากเดิมที่เป็นอยู่
- 3.2 ออกแบบตัวควบคุมชิ้นงาน (jig fixture) เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตให้น้อยลงจากเดิม

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

| แนวทางการปรับปรุง                                                          | ก่อนการปรับปรุง                                                                     | หลังการปรับปรุง                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. กำหนดมาตรฐานการเปลี่ยนใบตัด                                             | เปลี่ยนใบตัดเปลี่ยนเมื่อมีการสึกของฟัน                                              | หาค่าเฉลี่ยการในการเปลี่ยนใบตัดโดยกำหนดการเปลี่ยนใบตัดเมื่อยอดผลผลิตถึง 139,981 ชิ้น                                           |
| 2. กำหนดมาตรฐานการเปลี่ยนกระบอกลมจับชิ้นงาน                                | เปลี่ยนเมื่อกระบอกลมเมื่อมีอัตราการรั่วไหลที่ 19 ลิตร/นาที                          | กำหนดมาตรฐานการเปลี่ยนกระบอกลมที่ 42.17 สัปดาห์ หรือ 10.5 เดือน โดยคำนวณหาค่าการเปลี่ยนด้วยสมการ Regression จากโปรแกรม Minitab |
| 3. แก๊ซ Wi / ฝึกอบรมพนักงาน                                                | ไม่มีการ Update รูปภาพประกอบที่ชัดเจน                                               | ออกแบบเพิ่มเติมและกำหนดจุดต่าง ๆ ในภาพประกอบเพื่อเข้าใจได้ดีขึ้น                                                               |
| 4. ออกแบบตัวควบคุมชิ้นงาน                                                  |    |                                              |
| 5. เพิ่มประสิทธิภาพของตัวจับชิ้นงาน (กระบอกลม)                             |   |                                             |
| 6. เปลี่ยนตัวรองรับชิ้นงานในกระบวนการเจาะ                                  |  |                                            |
| 7. ปรับตั้งอุณหภูมิระบายความร้อนในแผงควบคุมจากเดิมที่ 31 องศา เป็น 29 องศา |  |                                            |

#### 4.5 ด้านต้นทุนในการปรับปรุง

การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมนั้น ผู้วิจัยได้ร่วมประชุมกับฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายผลิต และฝ่ายควบคุมคุณภาพ พบว่าต้องสั่งอุปกรณ์ที่หาไม่ได้ในองค์กรและวัสดุบางอย่างในการดำเนินการลดของเสียกรอบกระจกอลูมิเนียม มีดังต่อไปนี้

4.5.1 เหล็กเกลียว (Threaded Bars) M16 ความยาว 1 เมตร ราคา 150 บาท

4.5.2 ยูนิเทินจับชิ้นงานแบบวงกลม 1 เมตร ราคา 450 บาท

4.5.3 ยูนิเทินแท่ง จำนวน 1 เมตร ราคา 320 บาท

4.5.4 ใบมีดตัด ขนาด 20\*20 นิ้ว จำนวน 4 ใบ ราคา 68,000 บาท

4.5.5 กระบอกลม 4 ตัว ราคา 16,000 บาท

จากการปรับปรุงอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในเครื่องจักรและเพิ่มเติมอุปกรณ์ ควบคุมชิ้นงาน มีมูลค่ารวมทั้งหมดในการแก้ไขทั้ง 3 กระบวนการ คิดเป็นมูลค่า 84,770 บาท

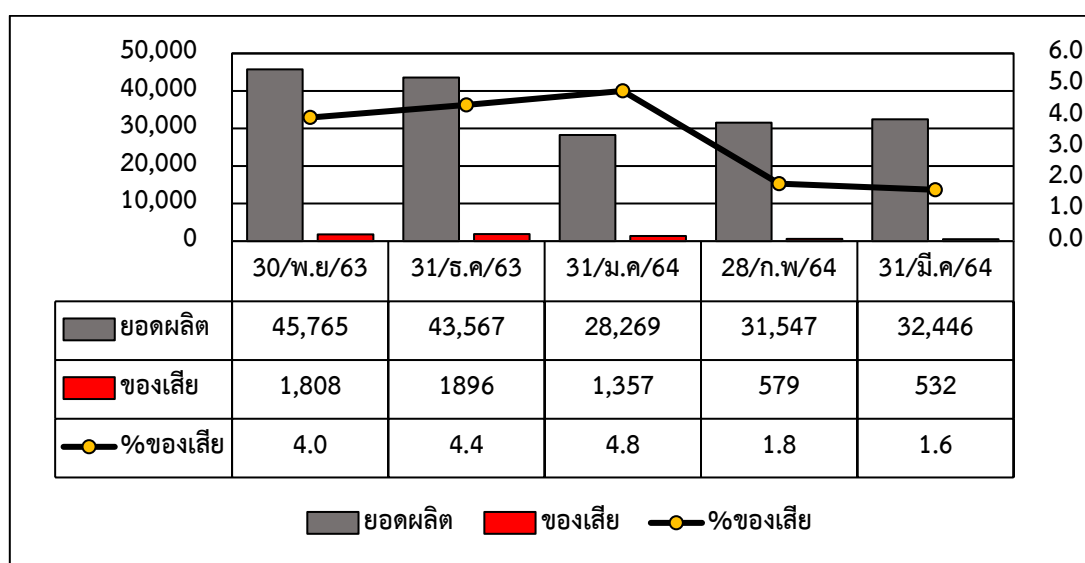
## 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

หลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขตามแนวทางและวิธีการที่กำหนดไว้แล้ว ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมที่มีของเสียเกิดขึ้นใน 3 กระบวนการ คือ การตัดชิ้นงานอลูมิเนียม ,การเจาะชิ้นงานอลูมิเนียม และการบากชิ้นงานอลูมิเนียม มาเปรียบเทียบบeforeการปรับปรุงในช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2563 – มกราคม พ.ศ.2564 และหลังปรับปรุงในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ.2564 - มีนาคม พ.ศ. 2564 พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นภายหลังทำการปรับปรุงลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ยอดการผลิตและของเสีย 1 พฤษภาคม ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2564

| ตารางของเสีย พฤษภาคม - มีนาคม 2564 |         |         |               |                     |                 |
|------------------------------------|---------|---------|---------------|---------------------|-----------------|
| เดือน                              | ยอดผลิต | ของเสีย | ตัดไม่ได้ระยะ | เจาะรู Centerไม่ตรง | บาก/เซาะผิดระยะ |
| 30-11-63                           | 45,765  | 1,808   | 899           | 641                 | 268             |
| 31-12-63                           | 43,567  | 1896    | 1289          | 401                 | 206             |
| 31-1-64                            | 28,269  | 1357    | 751           | 358                 | 248             |
| 28-2-64                            | 31,547  | 579     | 352           | 163                 | 64              |
| 31-3-64                            | 32,446  | 532     | 334           | 157                 | 41              |

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าจำนวนยอดผลิตทั้งหมดก่อนการปรับปรุงช่วง 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2563 ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2564 มียอดผลิตจำนวน 117,601 ชิ้น มียอดของเสียที่เกิดขึ้นจาก 3 กระบวนการผลิตเป็นจำนวน 5,061 ชิ้น คิดเป็น 4.4% และเมื่อหลังทำการปรับปรุงในช่วง 1 กุมภาพันธ์ ถึง 31 มีนาคม พ.ศ. 2564 พบว่า มีจำนวนยอดผลิต 63,993 ชิ้น และมียอดของเสียที่เกิดจาก 3 กระบวนการผลิตเป็นจำนวน 1,111 ชิ้น คิดเป็น 1.7% ดังรูปที่ 6



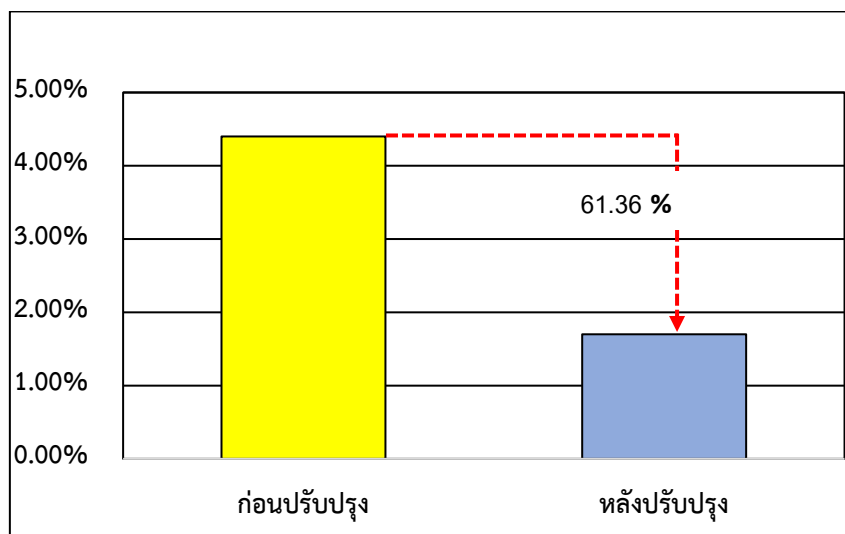
รูปที่ 6 เปรียบเทียบยอดของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

### 5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลการลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม พบว่า ภายหลังทำการปรับปรุงกระบวนการ ตัดชิ้นงาน ,เจาะชิ้นงาน และบากชิ้นงานโดยกำหนดมาตรฐานการเปลี่ยนอุปกรณ์ภายในเครื่องจักร โดยเสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรแต่ละประเภท และการออกแบบวัสดุควบคุมชิ้นงาน (jig fixture) เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตที่มีอยู่ในปัจจุบัน พบว่า ลดของเสียได้ถึง 61.36% ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ และยังมีกระบวนการอื่น ๆ ในสายการผลิตที่ต้องปรับปรุงแก้ไข เช่น การประกอบหรือขึ้นรูปบานกระจก ,การวางกระจกและฉีต Silicon ,การบรรจุ และอื่น ๆ อีกมากมาย จึงสามารถนำเอาข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ไปปรับใช้ได้

### 6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมในกระบวนการตัดชิ้นงาน ,เจาะชิ้นงาน และบากชิ้นงานอลูมิเนียม โดยเข้าไปทำการศึกษาโดยละเอียด รวมทั้งวิเคราะห์หาสาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาของเสียในขั้นตอนต่าง ๆ ในการผลิต ซึ่งจากการดำเนินการดังกล่าว โดยคิดเฉลี่ยเป็นเปอร์เซ็นต์จากเดิม 4.4 % เป็น 1.7% ลดลงได้ถึง 2.7% สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของเสียได้ถึง 61.36% ดังรูปที่ 6 และสามารถประหยัดต้นทุนบริษัทคิดเป็นจำนวนเงินโดยเฉลี่ย 2,370,000 บาท (1 ชิ้น เฉลี่ยเท่ากับ 5 Kg) ในรอบ 2 เดือน ถ้าคิดเป็นปริมาณการสูญเสียรายปี จะเท่ากับ 14,220,000 บาทต่อปี



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อน-หลังปรับปรุง

### 7. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้นำเอากระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมใน 3 กระบวนการก่อนที่จะขึ้นรูปเป็นบานกระจกตามอาคารสูงนั่นคือ กระบวนการตัดชิ้นงาน ,เจาะชิ้นงาน และบากชิ้นงานเท่านั้น ซึ่งในการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียมที่มีของเสียเกิดขึ้นมากมายในแต่ละกระบวนการ ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลที่ผู้วิจัยไปขยายผลในกระบวนการอื่น ๆ ต่อไปได้ และควรปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน หรือเครื่องจักรในกระบวนการเพิ่มเติมนอกเหนือจากที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ข้างต้น เช่น

1. ควรมีการอบรมพนักงานที่เข้าใหม่ก่อนลงปฏิบัติงานจริง
2. ควรมีการซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ของเครื่องจักรอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

## 8. เอกสารอ้างอิง

- จุไรรัตน์ ลาธุลี. (2559). การลดของเสียในกระบวนการผลิตสวิตช์ควบคุมกระจุ้มองข้างไฟฟ้า ด้วยกิจกรรมกลุ่มคิวิซี. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ทวี บุญกำเนิด. (2553). การลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงมือแพทย์. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมจัดการอุตสาหกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า.
- ธนฤช ชื่นแข็ง. (2556). การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษาของเสียประเภทจุดดำ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- รัชชัย บัวระภา. (2562). การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา โรงงานผลิต **เครื่องดื่ม**. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต.
- ธีรนนท์ สุทธธรรมรัตน์. (2562). การลดของเสียในกระบวนการผลิตแผงหน้าต่างอลูมิเนียม ระบบผนังกระจกสำเร็จรูป. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.

## การศึกษาคุณสมบัติเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายและถ่านกะลามะพร้าว

### The Study of Properties of Fuel Briquettes from Cotton Dust and Coconut Shell Charcoal

วชิราภรณ์ คำออน<sup>1</sup> สุณีรัตน์ ฟูกุดะ<sup>2</sup> และ แววบุญ แยมแสงสังข์<sup>3</sup>

<sup>1</sup>หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-Mail: tungau2012@gmail.com

<sup>2</sup>วิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

E-Mail: suneerat.pip@kmutt

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-Mail: weawboon.yam@stou.ac.th

Wachiraporn Khamon<sup>1</sup>, Suneerat Fukuda<sup>2</sup> and Weawboon Yamsangsung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Master of Science (Industrial Technology), Sukhothai Thammathirat Open University

<sup>2</sup>The Joint Graduate School of Energy and Environment (JGSEE) Center of Excellence on Energy

Technology and Environment (CEE),

King Mongkut's University of Technology Thonburi

<sup>3</sup>School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

วันที่รับบทความ 20 พฤศจิกายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

#### บทคัดย่อ

การทำการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าว ในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (2) เพื่อศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่าง แป้งมันสำปะหลัง กับ แป้งข้าวเจ้า (3) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายกับผงถ่านกะลามะพร้าว (4) เพื่อศึกษาด้านทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

วิธีดำเนินการวิจัย มี 4 ขั้นตอนคือ (1) การตรวจสอบสมบัติของถ่านกะลามะพร้าวกับฝุ่นฝ้าย (2) การทดลองหาปริมาณที่เหมาะสมของตัวเชื่อมประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (3) การศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง (4) การศึกษาด้านทุนการผลิตต่อแท่ง

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า (1) ถ่านกะลามะพร้าว และฝุ่นฝ้ายเมื่อนำมาหา ค่าความชื้น ปริมาณกำมะถัน และ ค่าความร้อน พบว่าวัตถุดิบทั้ง 2 มีความเหมาะสมในการนำไปทำเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ (2) พบว่าปริมาณตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมที่

จะใช้ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งของทั้งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า คือ ร้อยละ 18 โดยทุกอัตราส่วนที่ทำการทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ แต่อัตราส่วนที่ขึ้นรูปได้ดีที่สุดคือที่อัตราส่วน 90:10:18 และ 70:30:18 ของทั้ง 2 ตัวเชื่อมประสาน (3) การใช้แป้งมันสำปะหลัง และ แป้งข้าวเจ้า เป็นตัวเชื่อมประสาน จะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีสมบัติทางกายภาพ สมบัติด้านเชื้อเพลิง ที่แตกต่างกันเล็กน้อย และพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งของตัวเชื่อมประสานทั้ง 2 ชนิด ที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนได้แก่อัตราส่วนที่ 30:70:18, 90:10:18 และ 0:100:18 (4) ต้นทุนเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของ ถ่านกะลามะพร้าว และ แป้งข้าวเจ้ามีต้นทุนสูงกว่า แป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงอัดแท่ง, กะลามะพร้าว, ผุ่นฝ้าย

### Abstract

The purposes of this thesis were: (1) to study the optimum ratio between cotton dust, charcoal and coconut shell charcoal powder for forming into briquettes. (2) to study the type of starch which is suitable as a binder for forming briquettes between tapioca starch and rice starch. (3) for a comparative study physical property, and fuel properties of briquettes from cotton dust and coconut shell charcoal. (4) to compare the cost of producing fuel briquettes from cotton dust and coconut shell charcoal. The research methodology were as follows: (1) Determination of properties of coconut shell charcoal with cotton dust. (2) Optimal quantification of binders used in briquette forming. (3) Study of physical properties and fuel properties of briquettes from cotton dust and coconut shell charcoal. (4) Study of production cost per unit.

The results of this research were as follows: (1) Coconut Shell Charcoal and cotton dust when taken for moisture content, sulfur content and heat value, it was found that both raw materials were suitable for making briquette fuels. (2) It was found that the optimum amount of binder to be used in making briquettes of both tapioca starch and rice starch were at 18 percent. All ratios tested could be molded into briquettes. But the best forming ratio is at the 90:10:18 and 70:30:18 ratios of the two binders. (3) Using tapioca starch and rice flour as binders will produce fuel briquettes with no different in physical properties and fuel properties It was found that the briquettes of both types of connectors that met the Community Product Standards were the ratios of 30:70:18, 90:10:18 and 0:100:18. (4) The study of production costs revealed that the cost of production would increase with the ratio of coconut shell charcoal and briquettes using rice starch as a binder, cost a little more than tapioca starch.

**Keywords:** briquettes, coconut shell, cotton dust

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญ ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ และเป็นปัจจัยพื้นฐานในการผลิต ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน ความต้องการใช้พลังงานของมนุษย์บนโลกเพิ่มสูงขึ้นมาตลอด ซึ่งพลังงานที่ใช้อยู่ส่วน

ใหญ่เป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยหากมีการใช้พลังงานเช่นนี้ต่อไปเรื่อย ๆ ในอนาคตก็จะเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานขึ้นรุนแรงซึ่งมีการประมาณการว่าหากมีการใช้พลังงานในระดับเท่าปัจจุบันต่อไปเรื่อย ๆ และไม่มีการค้นพบแหล่งพลังงานเพิ่มเติมก็จะทำให้โลกเราเกิดวิกฤตการณ์ขาดแคลนพลังงานอย่างรุนแรงในอนาคต ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบันราคาพลังงานดิบตัวสูงขึ้นมาก ทั้งน้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และ น้ำมันดิบ ซึ่งมีสาเหตุมาจาก สภาพอากาศ และความต้องการใช้พลังงานที่มากขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากเศรษฐกิจฟื้นตัวจากสถานการณ์โควิด19 ตั้งแต่ต้นเดือน กันยายน 2564 ในเอเชียราคาก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น ร้อยละ 80 ในยุโรปราคาก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น ร้อยละ 130 ซึ่งสูงกว่าช่วงเวลาเดียวกันของปี 2563 ถึง 8 เท่า (นางนุช สิงหเดชะ, 2564) ส่วนสถานการณ์พลังงานของประเทศไทยเองจากอดีตจนถึงปัจจุบันก็มีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานคือการพัฒนาคิดค้นหาพลังงานชนิดอื่นมาใช้ทดแทนซึ่งควรจะเป็นแหล่งพลังงานที่ได้จากธรรมชาติที่ใช้ได้ไม่มีวันหมด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ และพลังงานจากชีวมวล ซึ่งเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งก็ถือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอีกหนึ่งทางเลือกของพลังงานทดแทนที่สามารถใช้ประโยชน์โดยใช้ให้ความร้อนเพื่อใช้ปรุงอาหารในครัวเรือน ใช้ในร้านอาหาร จนถึงใช้ในระดับอุตสาหกรรมโดยใช้เผาไหม้โดยตรงให้หม้อไอน้ำ โรงไฟฟ้าถ่านหินหลายแห่งสามารถนำเชื้อเพลิงชีวมวลมาใช้ร่วมกับถ่านหินเพื่อเป็นการลดการปล่อยมลภาวะโดยเฉพาะก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (กระทรวงพลังงาน, 2559) ในขณะเดียวกันประเทศไทยก็มีการทำอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มมาเป็นเวลานานและหนึ่งในอุตสาหกรรมนี้ก็คือ การผลิตเส้นด้าย ซึ่งประเทศไทยมีการผลิตและส่งออกขายไปยังประเทศต่างๆทั่วโลก โดยจากการสำรวจในเดือน มีนาคม 2563 พบว่ามีโรงงานผลิตเส้นใยและปั่นด้ายทั้งหมด 164 แห่ง (ศูนย์ข้อมูลและดิจิทัลอุตสาหกรรม สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2563) ซึ่งในการผลิตเส้นด้ายนั้นต้องใช้ฝ้ายมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิต ซึ่งขั้นตอนการผลิตจะแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของด้ายแต่การผลิตด้ายทุกชนิดจะต้องมี ขั้นตอนการผสมและการสางใยซึ่งทั้งสองขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดของเสียที่เรียกว่า ฝุ่นฝ้าย ที่ถือว่าเป็นของเสียจากการผลิต และยังก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการกำจัดอีกด้วย

จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำฝุ่นฝ้ายที่ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทนายนการทอดอุตสาหกรรมจำกัด มาทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนด้วยเหตุผลที่ตัวฝุ่นฝ้ายนี้มีสมบัติที่สามารถติดไฟได้ง่ายและให้ค่าพลังงานความร้อนที่สามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งได้โดยงานวิจัยได้เลือกนำถ่านกะลามะพร้าวมาผสมเพื่อช่วยเสริมให้เชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่งมีค่าความร้อนที่สูงขึ้นทั้งนี้เนื่องจากกะลามะพร้าวเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่หาง่ายและราคาไม่แพง โดยมีการเลือกใช้แป้งมันสำปะหลังแป้งข้าวเจ้า เป็นตัวเชื่อมประสานแท่งเชื้อเพลิง ซึ่งการนำฝุ่นฝ้ายมาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งนอกจากจะช่วยลดต้นทุนในการกำจัดของเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอแล้วยัง เป็นการนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุ่นฝ้ายกับถ่านกับถ่านกะลามะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
- 2.2 เพื่อศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กับแป้งข้าวเจ้า
- 2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าว
- 2.4 เพื่อศึกษาด้านทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายและถ่านกะลามะพร้าว

### 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยหัวข้อต่อไปนี้ แนวคิดเกี่ยวกับฝ้ายและฝุ่นฝ้าย แนวคิดเกี่ยวกับมะพร้าวและกะลามะพร้าว แนวคิดเกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า แนวคิดเกี่ยวกับการทำเชื้อเพลิงชีวมวลอัดแท่ง แนวคิดในการคำนวณต้นทุนการผลิต โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีรายละเอียดดังนี้

กัณมณี แสงสุข (2559) ทำการศึกษาลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ซี่เลื่อยและด้าย และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งหมด 11 อัตราส่วน แล้วพบว่าที่อัตราส่วน เศษเยื่อไม้ต่อซี่เลื่อยต่อด้ายที่อัตราส่วน 40:50:10 มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงที่ดีที่สุด โดยมีต้นทุนที่ 0.63 บาท/แท่ง

พัชรี อินธนู และ แพรชวัญ เกตุรมย์ (2560) ได้ทำการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเปลือกกล้วยลิ้ง โดยใช้ตัวประสานสองชนิด คือ แกลบ และ แป้งมันสำปะหลัง พบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณแป้งมันที่เป็นตัวประสานมากขึ้น และความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันในการอัดมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการใช้แรงดันในการอัดสูงจะทำให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของคาร์บอนลดลงทำให้อนุภาคอัดตัวกันแน่นขึ้นจึงทำให้มีค่าดัชนีการแตกร่วนที่มากขึ้น

ยัมแย้ม ลิ่วรัตน์ (2557) ศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของฝุ่นฝ้ายกับชีวมวลจากใบอ้อยและฟางข้าวใช้แป้งมันเป็นตัวประสานโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โปรแกรมเชิงเส้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาต้นทุนรวมของชีวมวลอัดแท่งที่มีน้ำหนัก 500, 1,000 และ 20,000 กิโลกรัม พบว่า 500 กิโลกรัม ที่อัตราส่วน ใบอ้อย ฟางข้าว ฝุ่นจากเศษฝ้ายและแป้งมันสำปะหลัง 23:17:50:10 ให้ผลที่เหมาะสมที่สุด คือ มีต้นทุน 8.35 บาทต่อกิโลกรัม

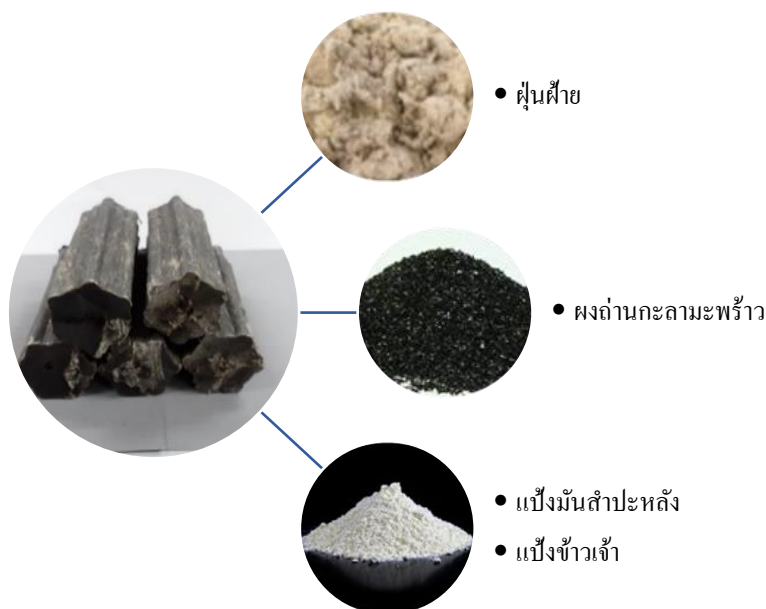
รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล (2553) ได้ทำการศึกษาการทำถ่านเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกะลามะพร้าวและเหง้ามันสำปะหลัง โดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสานทำการศึกษาอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวต่อถ่านเหง้ามันสำปะหลังทั้งหมด 9 อัตราส่วน คือ 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, และ 1:9 แล้วนำไปทดสอบด้านเชื้อเพลิง และทางด้านกายภาพ รวมทั้ง ทำการวิเคราะห์ผลการตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าเมื่อสัดส่วนของถ่านกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความร้อนเพิ่มขึ้นตามทั้งนี้เนื่องจากผลการทดสอบวัตถุพบว่กะลามะพร้าวมีค่าความร้อนมากที่สุด ที่อัตราส่วน 9:1 จึงให้ค่าความร้อนสูงสุดคือ 6,580 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลการตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์พบว่าต้นทุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของถ่านกะลามะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหากพิจารณาอัตราส่วนที่มีต้นทุนต่ำสุดที่ได้ค่าความร้อนผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง มพช.๒๓๘/๒๕๔๗ คืออัตราส่วน 3:7 ซึ่งจากผลการคำนวณพบว่ามีค่าต้นทุนการผลิต 5.35 กิโลกรัม/บาท ซึ่งหากทำการผลิตได้ 400 กิโลกรัม/วัน ก็จะสามารถคืนทุนได้ในเวลา 5 ปี

สุกัญญา ทับทิม และ ศศิธร ปรีทอง (2557) ศึกษาถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวผสมกับก้อนเห็ดหลังการเก็บเกี่ยว 5 อัตราส่วนคือ 9:1, 8:2, 5:5, 2:8, และ 1:9 หลังเก็บเกี่ยวโดยใช้ร้อยละ 10 กาวแป้งเปียกเป็นตัวประสาน พบว่า ค่าความหนาแน่นของถ่านอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนการเพิ่มของอัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวทั้งนี้เพราะถ่านกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นมากกว่าก้อนเห็ด แต่ความชื้นจะมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของกะลามะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าความร้อนก็มีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนของ ถ่านกะลามะพร้าว เช่นกัน

Kong และ คณะ (2013) ได้ศึกษาปฏิริยาการสานเข้าด้วยกันของเส้นใย (Intertwining) ในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจาก ซี้เลื่อยไม้สน กับ เส้นใยผ้าลินินที่มีขนาดแตกต่างกันคือ 0, น้อยกว่า 0.2, 1, 2, 10, และ 50 มิลลิเมตรตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความหนาแน่น และ การทนต่อแรงกดอัด เพิ่มขึ้นตามความยาวของเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดแรงสานกันระหว่างเส้นใยด้ายกับซี้เลื่อยสนซึ่งเมื่อเส้นใยมีความยาวมากขึ้นจะเกิดแรงสานกันได้ดีขึ้นตาม

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการทำการวิจัยเชิงทดลองโดยนำฝุ่นฝ้าย มาผสมกับผงถ่านกะลามะพร้าวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานโดยศึกษา อัตราส่วนระหว่าง ฝุ่นฝ้ายต่อถ่านกะลามะพร้าวต่อแป้งมันสำปะหลัง 7 ส่วน ได้แก่ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 และ ศึกษา อัตราส่วนระหว่าง ฝุ่นฝ้ายต่อถ่านกะลามะพร้าวต่อแป้งข้าวเจ้าอีก 7 อัตราส่วน ได้แก่ 100:0:18, 90:10:18, 70:30:18, 50:50:18, 30:70:18, 10:90:18 และ 0:100:18 เพื่อทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งแล้วนำไป ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และ ทดสอบสมบัติด้านเชื้อเพลิง



รูปที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำการทดลอง

#### 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฝุ่นฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยใช้ตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 18 และ ที่อัตราส่วนของ ฝุ่นฝ้าย:ผงถ่านกะลามะพร้าว:ตัวเชื่อมประสาน ที่ 90:30:18

และ 70:30:18 สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ดีที่สุด คือมีลักษณะทางกายภาพ จับตัวเป็นแท่งได้ดี มีผิวเรียบ ไม่มีรอยแตกร้าว ส่วนอัตราส่วนอื่นๆ สามารถขึ้นรูปได้เช่นกัน แต่จะมีรอยร้าวรอบๆ แท่ง หรือมีผิวขรุขระเล็กน้อย



100:0:18



90:10:18



70:30:18



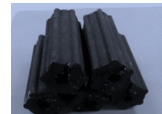
50:50:18



30:70:18



10:90:18



0:100:18

**รูปที่ 3** เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ใช้แยมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน



100:0:18



90:10:18



70:30:18



50:50:18



30:70:18



10:90:18



0:100:18

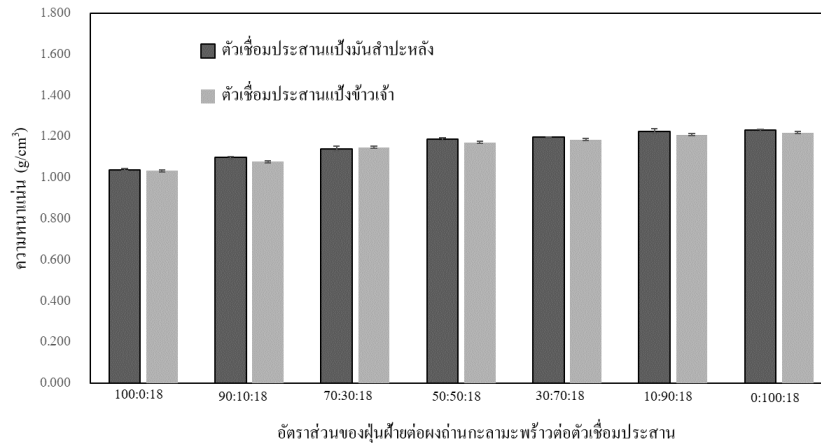
**รูปที่ 4** เชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ใช้แยมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน

5.2. ผลการศึกษาหาชนิดของแยมันสำปะหลังที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า การใช้แยมันสำปะหลัง และแยมันสำปะหลัง เป็นตัวเชื่อมประสานทำให้ขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ไม่แตกต่างกันทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านเชื้อเพลิง

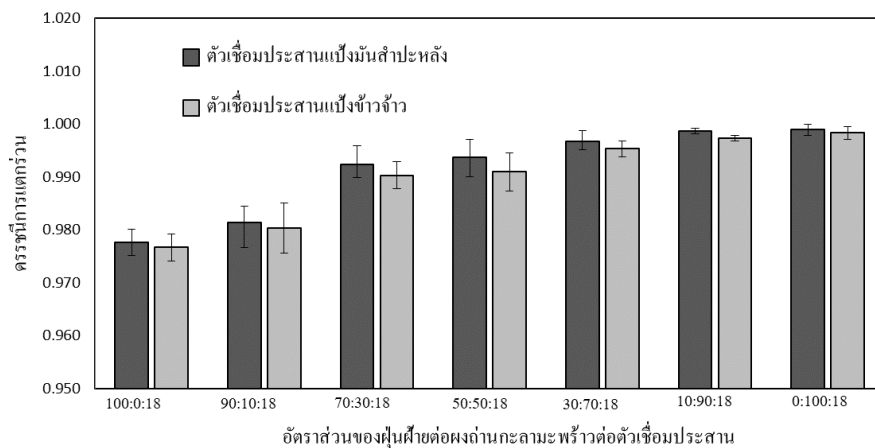
5.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แยมันสำปะหลังและแยมันสำปะหลัง มีสมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านเชื้อเพลิง ดังต่อไปนี้

#### 5.3.1 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ

1) ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีการแตกร่วน จากการทดลองพบว่า ทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีทั้งสองค่ามากขึ้นตามอัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก ผงถ่านกะลามะพร้าวมีความหนาแน่นมากกว่า ฝุ่นฝ้าย การเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวจึงเป็นการเพิ่มค่าความหนาแน่นและเมื่อมีความหนาแน่นมากก็จะส่งผลให้ค่าดัชนีการแตกร่วนมีค่ามากขึ้นซึ่งหมายถึงว่าถ่านเชื้อเพลิงจับตัวได้ดีมีการแตกร่วนน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของพัชรี อินธนู และ แพรขวัญ เกตุรมย์ ที่ศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเปลือกถั่วลิสงโดยใช้แยมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสาน แล้วพบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความหนาแน่นมาก อนุภาคจะมีการอัดตัวแน่นเกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคของเชื้อเพลิงอัดแท่งน้อย ส่งผลให้ดัชนีการแตกร่วนมีค่ามากขึ้นไปด้วย (พัชรี อินธนู และ แพรขวัญ เกตุรมย์, 2561)



รูปที่ 5 ค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 6 ค่าความหนาแน่นของการแตกตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

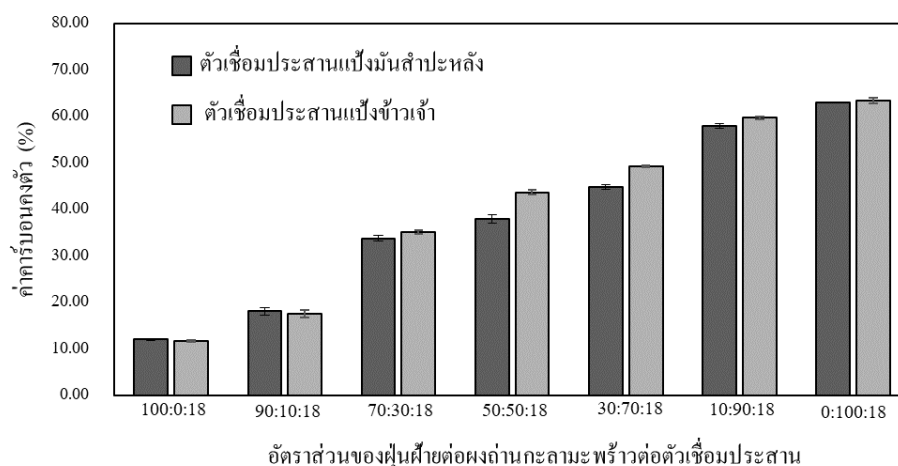
2) ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัด จากการทดลองพบว่าความต้านทานต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วน 50:50:18 และหลังจากอัตราส่วนนี้ค่าความต้านทานต่อแรงกดอัดก็ลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิด แรงจากการสานกัน (Intertwining) (กัณณณิ แสงสุข, 2559) ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการที่เส้นใยจากเส้นใยจะช่วยให้ยึดกับอนุภาคผงถ่านกะลามะพร้าวทำให้ก้อนเชื้อเพลิงอัดแท่งมีความเหนียวและทนต่อแรงกดอัดได้ดี ซึ่งแรงการสานกัน จะเกิดได้สูงสุด เมื่อสัดส่วนของเส้นใย และ ผงถ่านกะลามะพร้าวมีสัดส่วนที่พอเหมาะคือที่อัตราส่วน 50:50:18 เมื่อเกิดแรงจากการสานกันลดลง ก็ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของกัณณณิ แสงสุข ที่พบว่าแรงจากการสานกันซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการที่เส้นใยจากด้ายสามารถแทรกเข้าไปในอนุภาคของเศษเยื่อไม้และซีลี้อยแล้วเกิดการสานกันทำให้พันธะที่เกิดขึ้นในชีวมวลอัดแท่งมีความแข็งแรงและมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นคือมีความต้านทานต่อแรงกดอัดที่มากขึ้นนั่นเอง (กัณณณิ แสงสุข, 2559) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kong และคณะที่ค้นพบว่าการเพิ่มเส้นใยเข้าไปในกระบวนการอัด ของชีวมวลอัดเม็ดจะทำให้เกิด แรงจากการสานกัน (Intertwining) ระหว่างเส้นใยกับวัสดุ ซึ่งทำให้พันธะที่เกิดขึ้นในชีวมวลอัดเม็ด มีความแข็งแรงและมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น (Kong et al., 2013)

### 5.3.2 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

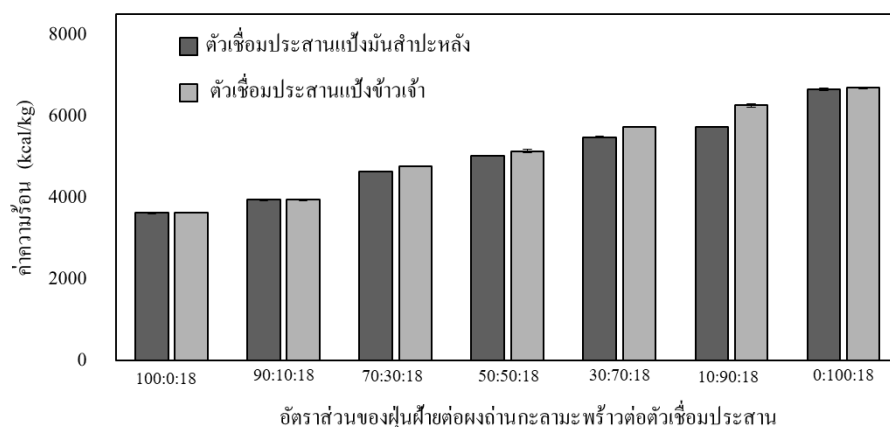
1) ค่าความชื้น จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวมากขึ้นในเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งในตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าให้ผลการทดลองที่ สอดคล้อง กันคือ ค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงตามอัตราส่วนของฝุ่นฝ้ายที่ลดลงทั้งนี้เนื่องจาก จากผลการทดสอบวัตถุบพบวาค่าความชื้น ฝุ่นฝ้ายมีค่าความชื้นมากกว่าผงถ่านกะลามะพร้าว และหากเปรียบเทียบตัวเชื่อมประสานทั้ง 2 ชนิดในทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่า ตัวเชื่อมประสานที่เป็น แป้งมันสำปะหลังมีความชื้นสูงกว่า แป้งข้าวเจ้าเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากแป้งมันสำปะหลัง มีความชื้นมากกว่าแป้งข้าวเจ้านั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่พบว่าแป้งมันสำปะหลังมีความชื้นมากกว่าแป้งข้าวเจ้าเล็กน้อยเช่นกัน โดยแป้งมันสำปะหลังมีความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 12.27 (Pongsawatmanit et.al, 2002) และแป้งข้าวเจ้ามีความชื้นเท่ากับ ร้อยละ 11.07 (สวนิต และคณะ, 2547)

2) ค่าสารระเหย และ ปริมาณเถ้า จากการทดลองพบว่าได้วามือเพิ่มอัตราส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวมากขึ้นในเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งในตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้ามีค่าเปอร์เซ็นต์ของสารระเหย และ ปริมาณเถ้าจะลดลงตามอัตราส่วนฝุ่นฝ้ายที่ลดลงทั้งนี้เนื่องจาก ฝุ่นฝ้ายมีค่าสารระเหยมากกว่า ผงถ่านกะลามะพร้าว การลดอัตราส่วนของฝุ่นฝ้ายลงจึงทำให้สารระเหยลดลงตามไปด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริกุล สุวรรณภพ และคณะ ที่ทำการศึกษสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมระหว่าง ฝุ่นฝ้ายกับซีลี้อยโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานได้นำวัตถุบไปทำการวิเคราะห์แล้วพบว่าฝุ่นฝ้ายมีปริมาณเถ้า ร้อยละ 7.35 และค่าสารระเหยเท่ากับ ร้อยละ 70.37 (ศิริกุล สุวรรณภพ และคณะ, 2558) และจากงานวิจัยของ Iloabachie ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาที่ส่งผลต่อสมบัติของถ่านกะลามะพร้าว โดย เขาได้นำถ่านกะลามะพร้าวไปวิเคราะห์ หาค่าปริมาณเถ้า ร้อยละ 4.28 และ สารระเหยได้เท่ากับ ร้อยละ 36.47 (Iloabachie et.al, 2018)

3) ค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อน ผลการทดสอบค่าคาร์บอนคงตัวและค่าความร้อนของเชื้อเพลิงถ่านอัดแท่งจะเห็นได้ว่า ทั้งสองค่าจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณสัดส่วนของผงถ่านกะลามะพร้าวที่เพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจาก การทดลองในตอนต้นที่นำผงถ่านกะลามะพร้าว และ ฝุ่นฝ้ายไปวิเคราะห์หาค่าความร้อนพบว่า ผงถ่านกะลามะพร้าวมีค่าความร้อนและค่าคาร์บอนคงตัวมากกว่าฝุ่นฝ้ายซึ่งค่าคาร์บอนคงตัวมีความสัมพันธ์กับ ค่าความร้อนโดยตรงคือเมื่อค่าคาร์บอนคงตัวมากก็จะทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าความร้อนมากตามไปด้วย สอดคล้องกับงานของธีรศักดิ์ พัฒนพานิช ที่พบว่าของปริมาณค่าความร้อนที่ได้ก็สอดคล้องกับผลของปริมาณคาร์บอนคงตัวคืออัตราส่วนไหนมีปริมาณคาร์บอนคงตัวสูงก็จะให้ค่าความร้อนสูง ธีรศักดิ์ พัฒนพานิช (2559)



รูปที่ 7 ค่าคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่ง



รูปที่ 8 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

5.4 ผลการศึกษาต้นทุนในการผลิต โดยคิดต้นทุนจากค่าเครื่องจักรและค่าซ่อมบำรุงเครื่องอัดและเครื่อง ตัดเชื้อเพลิง ค่าแรงงานค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และ ค่าวัตถุดิบ ได้แก่ ถ่านกะลามะพร้าว และ แป้งทั้ง 2 ชนิดที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน ผลการศึกษาพบว่าต้นทุนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานเท่ากับ 0.54-1.34 บาท/แท่ง ต้นทุนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวเชื่อมประสานเท่ากับ 0.65-1.45 บาท/แท่ง ซึ่งต้นทุนจะมีค่าสูงขึ้นตามอัตราส่วนถ่านกะลามะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟ่อนฝ้ายไม่มีต้นทุนและต้นทุนในส่วนอื่นๆจะมีค่าเท่ากันในทุกอัตราส่วน ซึ่งถ้าเทียบกันในแต่ละอัตราส่วน ต้นทุนที่ใช้แป้งข้าวเจ้าจะมีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากราคาแป้งข้าวเจ้าสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย

## 6. สรุปผลการทดลอง

6.1 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างฟ่อนฝ้ายกับถ่านกะลามะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งพบว่าทุกอัตราส่วนของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ทำการทดลองสามารถขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งได้ โดยใช้ตัวเชื่อมประสานที่เป็นแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 18 และ ที่อัตราส่วนของ ฟ่อนฝ้าย:ผงถ่านกะลามะพร้าว:ตัวเชื่อมประสาน ที่ 90:30:18 และ 70:30:18 สามารถขึ้นรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงได้ดีที่สุด คือมีลักษณะทางกายภาพ จับตัวเป็นแท่งได้ดี มีผิวเรียบ ไม่มีรอยแตกร้าว ส่วนอัตราส่วนอื่นๆ สามารถขึ้นรูปได้เช่นกัน แต่จะมีรอยร้าวรอบๆ แท่ง หรือมีผิวขรุขระเล็กน้อย

6.2 การศึกษาหาชนิดของแป้งที่เป็นตัวเชื่อมประสานที่เหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าตัวเชื่อมประสานทั้ง แป้งมันสำปะหลัง และ แป้งข้าวเจ้า มีความเหมาะสมในการใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง และเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากทั้งแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเจ้า มีสมบัติทางกายภาพ และ สมบัติด้านเชื้อเพลิงแตกต่างกันเล็กน้อย

6.3 การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้ามี สมบัติทางกายภาพ และสมบัติด้านเชื้อเพลิงไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีรายละเอียดผลการทดลองดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

| การทดสอบ                                    | แ่งมันสำปะหลัง | แ่งข้าวเจ้า  |
|---------------------------------------------|----------------|--------------|
| ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )             | 1.039-1.232    | 1.034-1.220  |
| ดรรชนีการแตก่วน                             | 0.978-0.999    | 0.975-0.998  |
| ความต้านทานต่อแรงกดอัด ( $\text{kg/cm}^2$ ) | 42.92-92.28    | 40.03-80.15  |
| ความชื้น (%)                                | 7.15-9.70      | 7.05-9.37    |
| ค่าสารระเหย (%)                             | 27.72-73.55    | 27.52-74.20  |
| ค่าปริมาณเถ้า (%)                           | 2.09-4.66      | 2.07-4.81    |
| ค่าคาร์บอนคงตัว (%)                         | 12.09-63.05    | 11.62-63.36  |
| ค่าความร้อน (Kcal/Kg)                       | 3,630-6,656    | 3,643- 6,702 |

6.4 ผลการศึกษาต้นทุนในการผลิต โดยคิดต้นทุนจาก ค่าใช้จ่ายในการซื้อและค่าซ่อมบำรุงเครื่องจักรได้แก่ เครื่องอัดและเครื่องตัดเชื้อเพลิง ค่าแรงงาน ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า และ ค่าวัตถุดิบ ได้แก่ ถ่านกะลามะพร้าว และ แ่งทั้ง 2 ชนิดที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน ผลการศึกษาพบว่าต้นทุนเชื้อเพลิงอัดแท่งทุกอัตราส่วนจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการเพิ่มของถ่านกะลามะพร้าวทั้งนี้เนื่องจากต้นทุนอื่นๆจะเท่ากันทุกอัตราส่วน และถ้าเทียบกับในแต่ละอัตราส่วนต้นทุนที่ใช้แ่งข้าวเจ้าจะมีค่าสูงกว่าแ่งมันสำปะหลังเล็กน้อย

## 7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรศึกษาการขึ้นรูปแบบอื่น เช่น การทำเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ด เพื่อที่จะสามารถทำเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาของโรงงานผลิตไฟฟ้าได้หลากหลายชนิด

7.2 ควรศึกษาการอัดโดยใช้วิธีการอัดเย็นแบบใช้แรงดันจะทำให้สามารถใช้แรงอัดในการขึ้นรูปได้มากขึ้น

7.3 ควรใช้ตัวเชื่อมประสานชนิดอื่นเพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากในการวิเคราะห์ต้นทุนรวมต่อหน่วยการผลิตพบว่าต้นทุนส่วนใหญ่มาจากค่าใช้จ่ายในส่วนของแ่งทั้ง 2 ชนิดที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสาน ซึ่งตัวเชื่อมประสานชนิดอื่น เช่น กากน้ำตาล กากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น จะช่วยให้ต้นทุนในการผลิตลดลง

7.4 นำฝุ่นฝ้ายไปผสมกับวัตถุดิบหรือ วัสดุเหลือใช้อื่น

## 8. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2559). โครงการศึกษาและจัดทำข้อมูลการลงทุนด้านพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- กัณมณี แสงสุข. (2559). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษเยื่อไม้ขี้เลื่อยและด้าย. วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรศักดิ์ พัฒนพานิช. (2559). การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากถ่านไม้เงาะ โดยใช้กากน้ำตาลและแ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นงนุช สิงหเดชะ. (2564). วิฤตพลังงานโลกยังไม่เห็นทางออกอันใกล้. สืบค้นจาก <http://today.line.me/th/v2/article/LX1YXzj>.
- พัชรี อินธนู และ แพรววิญญู เกตุรมย์. (2561). การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวมวลจากเศษเปลือกถั่วลิสง. งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- ยัมแย้ม ลิวิรัตน์. (2557). การนำฝุ่นจากเศษฝ้ายมาใช้เพื่อลดต้นทุนในการผลิตชีวมวลอัดแท่ง. รายงานการศึกษาค้นคว้าอิสระ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- รุ่งโรจน์ พุทธิสกุล. (2553). การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเห้งน้ำมันสำหรับปาล์. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิริกุล สุวรรณภพ และคณะ. (2558). การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากฝุ่นฝ้ายผสมกับขี้เลื่อย. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- ศูนย์ข้อมูลและดิจิทัลอุตสาหกรรม สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2563). โรงงานอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม (สะสม) ณ เดือนมกราคม-ธันวาคม 2563. สืบค้นจาก <https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.2393.14.0.html>: กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สวณิต อิชยาวณิชย์ และคณะ. (2547). คุณสมบัติทางเคมี กายภาพ และรีโอโลยีของแป้งข้าวเจ้าที่ผลิตโดยกระบวนการไม่เปียกและไม่แห้งในระดับอุตสาหกรรม. งานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สุกัญญา ทับทิม และ ศศิธร ปรีทอง. (2557). การเปรียบเทียบค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งจากส่วนผสมของกะลามะพร้าวและก้อนเห็ดหลังการเก็บผลผลิต. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.
- Iloabachie, et al., (2018). The effect of carbonization temperatures on proximate analysis of coconut shell. International Journal of Advanced Engineering and Technology.
- Kong, et al., (2013). Intertwining action of additional fiber in preparation of waste sawdust for biofuel pellets. Biomass and Bioenergy 59 : 151-157.
- Pongsawatmanit, et al., (2002). Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. Sci. Asia. 28: 129-134. doi.org/10. 2306/scienceasia 1513-1874.2002.28.129.

## การวิเคราะห์กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินด้วยวิธี FHWA (1999)

### Bearing Capacity Analysis of Rock-Socketed Pile using FHWA (1999) Method

อติเทพ ศรีคงศรี<sup>1</sup> ดำรง รังสรรค์<sup>2</sup> โชติไกร ไชยวิจารณ์<sup>3</sup> วิกรม พนิชการ<sup>4</sup> และ นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

60 ถนนร่มเกล้า แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510

Atitep Srikongsri<sup>1</sup>, Damrong Rangsan<sup>2</sup>, Chotikrai Chaivijarn<sup>3</sup>, Vicrom Panichacarn<sup>4</sup>, and Narin Eursiriwan<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Romklao Campus,

60 Romklao Road, Minburi, Bangkok 10510

E-Mail: atitep.sri@kbu.ac.th

วันที่รับบทความ 12 ธันวาคม 2565

วันแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินด้วยวิธี FHWA (1999) โดยใช้ข้อมูลจากการเจาะสำรวจทางปฐพีวิศวกรรม เสาเข็มชนิดนี้มีแรงต้านจากความเสียดทานจากชั้นดินรอบเสาเข็มส่วนบนซึ่งคำนวณแรงเสียดทานด้วยวิธีและพารามิเตอร์แบบเดียวกันกับการคำนวณเสาเข็มทั่วไป และแรงต้านจากส่วนล่างที่ฝังในหินพิจารณาจากชนิดของหิน ความเป็นมวลเนื้อเดียวกัน (ค่า RQD) ระดับความผุพัง คุณสมบัติกำลังรับแรงอัด และกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเสาเข็ม ในการวิเคราะห์ได้เลือกเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร จากโครงการหนึ่งในจังหวัดชลบุรีที่มีการทดสอบกำลังแบกทานของเสาเข็มในสนามเป็นกรณีศึกษา เมื่อนำผลการคำนวณกำลังแบกทานของเสาเข็มมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบเสาเข็มโดยใช้สัดส่วนความปลอดภัยอ้างอิงกฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 6 พศ. 2527 พบว่ามีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี

**คำสำคัญ:** กำลังแบกทาน, เสาเข็มปลายฝังในหิน, ทดสอบเสาเข็ม

#### ABSTRACT

Bearing capacity of rock-socketed pile was analyzed using FHWA (1999) method. The method relies on geotechnical investigation data. The bearing capacity is generally generated from skin friction in the upper part where the shaft is in contact with soil and the lower part where the shaft embedded in the rock socket. The friction at the soil-shaft interface was calculated by conventional static method. The capacity from the rock socket including friction and tip resistance was calculated by considering type of rock, RQD value, degree of weathering, and compressive strengths of rock and concrete. A bored pile with a diameter of 0.80 m. from a site that pile load test result reported was selected as case study. Comparison between

the calculated result and the test result, with reference to the Ministerial Regulation (Ministry of Interior) no.6 B.E. 2527, appeared in very good agreement.

**Keywords:** bearing capacity, rock-socketed pile, pile load test

## 1. บทนำ

กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินเป็นกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มที่อาศัยแรงต้านจากปลายเสาเข็มที่ฝังในหินส่วนหนึ่งและแรงเสียดทานผิวสัมผัสรอบเสาเข็มทั้งจากส่วนที่ฝังในหินและส่วนที่อยู่ในชั้นดินด้านบนของชั้นหิน ระยะฝังในเนื้อหินโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณไม่น้อยกว่า 1.5 ถึง 3 เท่าของขนาดหน้าตัดเสาเข็มขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหินและกำลังแบกทานของเสาเข็มที่ต้องการ ปัจจุบันมีวิธีวิเคราะห์เชิงสถิต (Static Method Analysis) คำนวณจากข้อมูลผลเจาะสำรวจและทดสอบสอบดินอยู่หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นวิธีที่เน้นแรงเสียดทานเป็นหลักหรืออาศัยทั้งจากแรงเสียดทานและแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม แนวคิดที่ใช้แรงต้านจากแรงเสียดทานของเสาเข็มเพียงอย่างเดียวนั้นมีสมมติฐานว่าแรงเสียดทานของเสาเข็มนั้นมากเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกขณะใช้งานแล้ว แรงจากน้ำหนักบรรทุกทุกจึงไม่ถ่ายลงไปถึงปลายเสาเข็ม (Xu, Dai, Gong, Zhang, Haque, & Gamage, 2021) ในขณะที่การนำแรงต้านทั้งจากแรงเสียดทานและที่ปลายเสาเข็มนำมาคำนวณรวมกันเป็นกำลังแบกทานประลัยก่อนลดทอนค่าด้วยสัดส่วนความปลอดภัยให้เป็นน้ำหนักบรรทุกที่ยอมรับได้ ยังคงเป็นวิธีที่นิยมและมีสูตรการคำนวณให้เลือกใช้เป็นจำนวนมาก (Rowe, R.K. & Armitage, H.H., 1987), (Zhang, 1997), (Kim, Kwon, Han, & Yoo, 2019) เนื่องจากสูตรและวิธีการคำนวณแรงต้านจากส่วนที่ฝังในหินมีหลากหลายและด้วยหินนั้นมีพารามิเตอร์ทั้งด้านกำลังและเงื่อนไขด้านคุณภาพของตัวอย่างหินเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงทำให้ผลลัพธ์จากการคำนวณของแต่ละวิธีมีโอกาสแตกต่างกันได้มาก (สยาม อัมศิริ, 2559)

Federal Highway Administration ของสหรัฐอเมริกาหรือ FHWA ได้เผยแพร่คู่มือการออกแบบและก่อสร้างเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินที่ถือเป็นเอกสารที่จัดทำโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับในวงกว้าง (O’Niel & Reese, 1999) วิธีในคู่มือของ FHWA (1999) นี้เป็นวิธีคำนวณจากตัวแปรคุณสมบัติหินที่พิจารณาองค์ประกอบรวมหลายอย่าง ทั้งการประเมินสภาพโครงสร้างมวลหิน ประเภทและความต่อเนื่องของหิน ค่ากำลังและอื่นๆ จึงเหมาะแก่การนำมาทดลองศึกษาประยุกต์ใช้สำหรับการวิเคราะห์กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินของกรณีศึกษาในบทความนี้

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์แสดงการวิเคราะห์กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินด้วยวิธี FHWA (1999) ที่คำนวณจากข้อมูลเจาะสำรวจและทดสอบทางปฐพีวิศวกรรมและเพื่อเปรียบเทียบกับผลการคำนวณกับผลการทดสอบกำลังแบกทานของเสาเข็มในสนาม โดยใช้สัดส่วนความปลอดภัยอ้างอิงจากกฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 6 พศ. 2527 การศึกษานี้ใช้เสาเข็มเจาะเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.80 เมตรจากโครงการแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรีเป็นกรณีศึกษา

## 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากโครงการที่เลือกเป็นกรณีศึกษาเป็นพื้นที่ที่ชั้นดินประกอบด้วยชั้นทรายและเริ่มพบชั้นหินแกรนิตผุที่ระดับความลึกตั้งแต่ 13 เมตร ในบางตำแหน่งพบในระดับที่ลึกกว่านี้ ดังนั้นสูตรที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์กำลังต้านทานจากดินและหินจึงประกอบด้วยสูตรคำนวณ 1) หน่วยแรงเสียดทานในทราย 2) หน่วยแรงเสียดทานในชั้นหิน (ระยะที่ฝังในหิน) และ 3) หน่วยแรงแบกของหินที่ปลายเสาเข็ม

1) สูตรทั่วไปสำหรับหน่วยแรงเสียดทานประลัยรอบเสาเข็มในชั้นทราย (Maximum Shaft Friction Resistance in Sand) หรือ  $f_{\max(S)}$  คำนวณจาก

$$f_{\max(S)} = \beta P_{avg} \quad (1)$$

เมื่อ  $\beta$  คำนวณจาก  $K_s \tan \delta$   
 $K_s$  คือสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้าง  
 $\delta$  คือมุมเสียดทานระหว่างคอนกรีตกับดินรอบเสาเข็ม (ประมาณ 0.75 เท่าของค่า  $\phi$  มุมเสียดทานของดิน)

$P_{avg}$  คือหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเฉลี่ยที่กึ่งกลางช่วงความยาวเสาเข็มในชั้นทราย

2) สูตรสำหรับหน่วยแรงเสียดทานประลัยรอบเสาเข็มในชั้นหิน (Maximum Shaft Friction Resistance in Rock) หรือ  $f_{\max(R)}$  คำนวณจาก (O’Niel & Reese, 1999)

$$f_{\max(R)} = 0.65 P_a [q_u / P_a]^{0.5} \quad (2)$$

ทั้งนี้ต้องมีค่าไม่เกิน  $0.65 P_a [f'_c / P_a]^{0.5}$

เมื่อ  $P_a$  คือความดันบรรยากาศ (101 kPa)  
 $q_u$  คือค่ากำลังอัดประลัยแกนเดียวของหิน (Uniaxial Compressive Strength) มีหน่วยเป็น kPa  
 $f'_c$  คือค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน มีหน่วยเป็น kPa

3) สูตรสำหรับหน่วยแรงแบกทานประลัยของหินที่ปลายเสาเข็ม (Maximum End Bearing in Rock) หรือ  $q_{\max}$  (หน่วยเป็น kPa) พิจารณาจากค่ากำลังอัดประลัยแกนเดียวหรือ  $q_u$  และเปอร์เซ็นต์ความต่อเนื่องของตัวอย่างหินในรูปแบบของค่า RQD (Rock Quality Designation) สูตรแบ่งเป็น 3 กรณี (O’Niel & Reese, 1999)  
 กรณีที่ 1 หินมีค่า RQD เท่ากับ 100 และระยะฝังไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม

$$q_{\max} = 2.5 q_u \quad (3)$$

กรณีที่ 2 หินมีค่า RQD ระหว่าง 70 ถึง 100 มีรอยไม่ต่อเนื่องปิดสนิททางตัวค่อนข้างอยู่แนวราบและค่า  $q_u$  ไม่น้อยกว่า 0.5 MPa (สูตรนี้ใช้หน่วย MPa)

$$q_{\max} = 4.83 q_u^{0.51} \quad (4)$$

กรณีที่ 3 หินมีรอยไม่ต่อเนื่องจำนวนมาก แต่ละแนวทำมุมแตกต่างกัน การประเมินสภาพรอยดังกล่าวสามารถทำได้ด้วยการชุดทดสอบ ต้องพิจารณาพร้อมกับ ชนิดหิน ความผูกพัน และความไม่ต่อเนื่อง

$$q_{\max} = [s^{0.5} + (ms^{0.5} + s)^{0.5}] q_u \quad (5)$$

โดยค่า  $s$  และ  $m$  หาได้จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ชนิดหินสำหรับใช้ในตารางที่ 2 (O’Niel & Reese, 1999)

| Rock Type | Description                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | carbonate rock with well-developed crystal cleavage (e.g., dolomite, limestone, marble)                 |
| B         | mudstone, siltstone, shale, slate                                                                       |
| C         | sandstone, quartzite                                                                                    |
| D         | fine-grained igneous rocks (andesite, dolerite, diabase, rhyolite)                                      |
| E         | coarse-grained igneous rocks and metamorphic rocks (amphibole, gabbro, gneiss, granite, quartz-diorite) |

ตารางที่ 2 ค่า  $s$  และ  $m$  จำแนกตามคุณภาพและชนิดของหิน (O’Niel & Reese, 1999)

| Quality of Rock Mass by<br>Joint Description and Spacing | $s$  | $m$ based on rock type |     |     |      |      |
|----------------------------------------------------------|------|------------------------|-----|-----|------|------|
|                                                          |      | A                      | B   | C   | D    | E    |
| Excellent: Intact (closed); spacing > 3 m                | 1    | 7                      | 10  | 15  | 17   | 25   |
| Very Good: Interlocking; spacing of 1 to -3 m            | 0.1  | 3.5                    | 5   | 7.5 | 8.5  | 12.5 |
| Good: Slightly weathered; spacing of 1 to 3              | 0.04 | 0.7                    | 1   | 1.5 | 1.7  | 2.5  |
| Fair: Moderately weathered; spacing of 0.3 to 1          | 10-4 | 0.14                   | 0.2 | 0.3 | 0.34 | 0.5  |

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการนำข้อมูลผลเจาะสำรวจและทดสอบชั้นดินมาวิเคราะห์โดยใช้สูตรต่างๆที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3 เพื่อให้ทราบค่ากำลังแบกทานของเสาเข็ม ตัวแปรที่ใช้ประกอบด้วย คุณสมบัติด้านกำลังของดินและหิน คุณสมบัติเชิงคุณภาพของหิน (RQD ชนิดหิน ความผุพัง และความไม่ต่อเนื่อง) ส่วนที่สองเป็นการนำผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลที่คำนวณไว้โดยใช้สัดส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 เท่าสำหรับผลการคำนวณและ 2 เท่าสำหรับผลการทดสอบในสนาม (กฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6 พศ.2527 ออกตามความใน พรบ.ควบคุมอาคาร พศ.2522)

การศึกษานี้ใช้กรณีศึกษาเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ความยาว 19 เมตร โครงการก่อสร้างปรับปรุงทางแยกต่างระดับเขาไม้แก้ว ทางหลวงหมายเลข 36 จังหวัดชลบุรี ผลการเจาะสำรวจชั้นดินใช้ค่าเฉลี่ยจากหลุมเจาะสำรวจ 2 หลุม (บริษัท แคลสแลบ (ประเทศไทย) จำกัด, 2563) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลเจาะสำรวจชั้นดิน

| ความลึก<br>(ม) | ชนิดของดิน/หิน                                  | SPT |                  | $q_u$<br>(MPa) | หน่วยน้ำหนัก<br>$\gamma'$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------------------------------------------|-----|------------------|----------------|---------------------------------------------------|
|                |                                                 | N   | N <sub>COR</sub> |                |                                                   |
| 0 ถึง 9.0      | ทรายปนทรายแข็งปานกลางถึงแน่น (SM)               | 33  | 24               |                | 21                                                |
| 9.0 ถึง 16.5   | ทรายปนทรายแข็งแน่นมาก (SM)                      | >50 | 50               |                | 21                                                |
| 16.5 ถึง 21.0  | หินแกรนิตสีเทา ผุพังปานกลาง (RQD $\approx$ 50%) |     |                  | 44             | 21                                                |

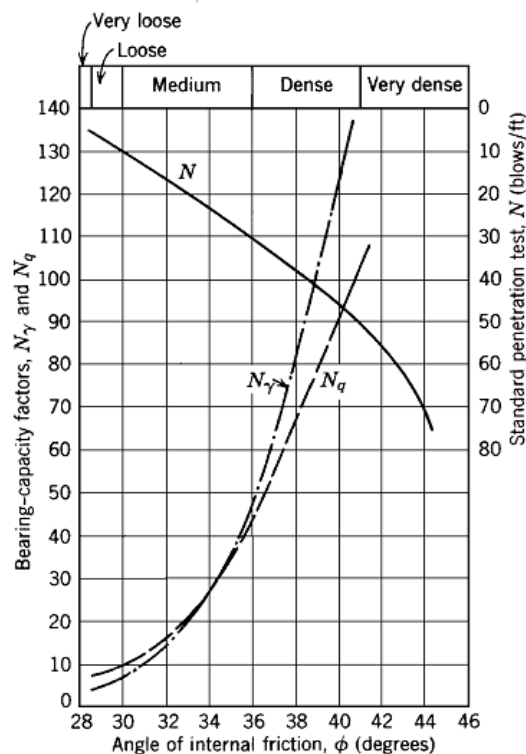
ช่วงความลึกถึง 9 เมตรเป็นทรายปนทรายแป้งมีค่า  $N$  เท่ากับ 33 จึงทำการปรับแก้ค่า  $N$  ด้วย  $N_{COR}$  เท่ากับ  $15 + 0.5(N - 15)$  ทำให้  $N_{COR}$  มีค่าเท่ากับ 24 สำหรับช่วงที่ลึกกว่า 9 เมตร ค่า  $N$  สูงกว่า 50 มากจึงใช้  $N_{COR}$  จำกัดไว้ที่ 50 โดยไม่ปรับแก้ แล้วนำค่า  $N_{COR}$  ไปแปลงเป็นค่ามุม  $\phi$  โดยใช้กราฟในรูปที่ 2 สำหรับตัวอย่างหินได้เก็บตัวอย่างมาคำนวณค่า RQD (รูปที่ 1) และนำไปทดสอบกำลังอัดแกนเดียวได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 44 MPa

ค่า  $\beta$  ในตารางที่ 4 คำนวณได้จากสูตรในคำอธิบายของสมการที่ 1 ค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิผลเฉลี่ย  $P_{avg}$  ในช่วงความลึก 9 เมตรและช่วง 9 ถึง 16.5 เมตรเท่ากับ 49.5 kPa และ 140.3 kPa ตามลำดับ (กำหนดให้ระดับน้ำอยู่ที่ผิวดิน) นำสองค่านี้แทนค่าในสมการที่ 1 จะได้ค่าหน่วยแรงเสียดทานประลัยต่อไป



รูปที่ 1 ตัวอย่างหินจากหลุมเจาะสำรวจ

ที่มา: บริษัทแคลบ(ประเทศไทย) จำกัด (2563)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N$  และค่า  $\phi$

ที่มา: Peck, Hanson, & Thornburn (1974)

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์กำลังเสียดทานในชั้นทราย

| ความลึก<br>(ม) | N  | $\phi$ | $\delta$ | $K_s$ | $\beta$ | $\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $\gamma'$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | $P_{avg}$<br>(kPa)                |
|----------------|----|--------|----------|-------|---------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 0 - 9.0        | 24 | 34     | 26       | 0.7   | 0.33    | 21                               | 11                                | 49.5<br>(11x9/2)                  |
| 9.0 - 16.5     | 50 | 41     | 31       | 0.7   | 0.42    | 21                               | 11                                | 140.3<br>(11x9) + 11 x (16.5-9)/2 |

### 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการคำนวณค่าหน่วยแรงเสียดทานประลัยด้วยสมการที่ 1 ในชั้นดินทรายทั้งสองช่วงได้ค่า  $f_{max(S)}$  เท่ากับ 16.5 kPa และ 58.4 kPa ตามลำดับ และเมื่อคูณด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสรอบเสาเข็ม ( $A_s$ ) 22.91 และ 18.85 m<sup>2</sup> จะได้กำลังเสียดทานประลัย 374 kN และ 1,101 kN ตามลำดับ ทั้งหมดรวมทั้งสองช่วงเป็นกำลังเสียดทานประลัย 1,475 kN

การคำนวณกำลังเสียดทานประลัยในหินด้วยสมการที่ 2 โดยเลือกใช้กำลังอัดประลัยของคอนกรีตเนื่องจากค่ากำลังอัดประลัยแกนเดียวของหินมีค่าสูงกว่าคอนกรีต จึงใช้ค่า  $f'_c$  เท่ากับ 24 MPa ระยะฝังในชั้นหิน 2.4 เมตร ค่ารวมค่า  $f_{max(R)}$  ได้ 1,012 kPa คูณด้วยพื้นที่ผิวสัมผัสรอบเสาเข็มได้กำลังของแรงเสียดทานในชั้นหินเท่ากับ 6,104 kN

การคำนวณกำลังแบกทานที่ปลายเสาเข็มในหินเลือกใช้สมการที่ 5 เนื่องจากค่า RQD ของตัวอย่างหินที่เก็บจากหลุมเจาะในโครงการมีค่าต่ำกว่าค่าที่แนะนำให้ใช้ในสมการที่ 3 และสมการที่ 4 เมื่อพิจารณาระดับการผุพัง จัดว่าอยู่ในคุณภาพระดับ “Fair” ตามตารางที่ 1 และหินแกรนิตจัดอยู่ในกลุ่ม “E” ตามตารางที่ 2 ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ “s” และ “m” เท่ากับ 0.0001 และ 0.5 ตามลำดับ แทนค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในสมการที่ 5 จะได้  $q_{max}$  เท่ากับ 4.17 MPa เมื่อคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดเสาเข็ม ( $A_p$ ) 0.503 m<sup>2</sup> ผลลัพธ์คือแรงแบกทานประลัยที่ปลายเสาเข็ม 2,094 kN (ประมาณ 213 ตัน) เมื่อรวมแรงต้านทานทั้งหมดจากชั้นทราย (1,475 kN) จากชั้นหิน (6,104 + 2,094) เป็นกำลังแบกทานประลัยของเสาเข็มเท่ากับ 9,673 kN (ประมาณ 967 ตัน) ผลการคำนวณสรุปไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณกำลังต้านทานในชั้นดินทรายและชั้นหิน

| ความลึก<br>(ม) | $f_{max(S)}$<br>หรือ<br>$f_{max(R)}$<br>(kPa) | พื้นที่ผิวสัมผัส<br>รอบเสาเข็ม $A_s$<br>(m <sup>2</sup> ) | กำลังเสียด<br>ทานประลัย<br>(kN) | $q_{max}$<br>(kPa) | พื้นที่หน้าตัด<br>เสาเข็ม $A_p$<br>(m <sup>2</sup> ) | แรงแบกทาน<br>ประลัยที่ปลาย<br>เสาเข็ม (kN) |
|----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 0 ถึง 9.0      | 16.5                                          | 22.91                                                     | 374                             |                    |                                                      |                                            |
| 9.0 ถึง 16.5   | 58.4                                          | 18.85                                                     | 1,101                           |                    |                                                      |                                            |
| Rock Socket    | 1,012                                         | 6.03                                                      | 6,104                           | 4,166              | 0.503                                                | 2,094                                      |

ในส่วนของการทดสอบเสาเข็มในสนาม เป็นการทดสอบที่ขนาดและความยาวเดียวกันกับที่ใช้รายการคำนวณ การทดสอบทำด้วยวิธีน้ำหนักสถิต (Static Load Test) ใช้น้ำหนักบรรทุกสูงสุดในการทดสอบเท่ากับ 765 ตัน (รูปที่ 3) ผลการทดสอบเสาเข็มที่น้ำหนักทดสอบสูงสุด (Max Load Test) 765 ตัน วัดค่าการทรุดตัวสูงสุดเมื่อคงค้ำน้ำหนักทดสอบทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง (Total Settlement at Max Load) ได้ 10.59 มม. และเมื่อถอนน้ำหนักทดสอบออกทั้งหมด วัดค่าการทรุดถาวร (Permanent Settlement) ได้ 5.43 มม.



รูปที่ 3 การทดสอบการรับน้ำหนักของเสาเข็ม ที่มา: บริษัทแคลบ(ประเทศไทย) จำกัด (2564)

ตามที่กฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6 พศ.2527 ระบุในข้อ 21 ว่าให้ใช้กำลังแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตราดังต่อไปนี้ (1) กำลังแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากการทดสอบคุณสมบัติของดินให้ใช้กำลังแบกทานได้ไม่เกินร้อยละ 40 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (2) กำลังแบกทานของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบให้ใช้กำลังแบกทานได้ไม่เกินร้อยละ 50 ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด จะเห็นว่าผลการทดสอบเสาเข็มซึ่งปรากฏว่าการทรุดตัวที่น้ำหนักสูงสุดวัดได้ 10.59 มม. ซึ่งยังห่างจากเกณฑ์ 25 มม. อยู่มาก แต่ค่าการทรุดตัวถาวรที่วัดได้ 5.43 มม. ก็เข้าใกล้ขีดจำกัดที่ 6 มม. ทั้งนี้หากใช้เกณฑ์ค่าการทรุดตัวที่น้ำหนักสูงสุดเกณฑ์อื่นๆที่คำนึงถึงขนาดหน้าตัดเสาเข็ม เช่น American Society of Civil Engineers (1997) หรือ ASCE แนะนำ  $3.81 + D/100$  (D มีหน่วยเป็น มม.) อาจได้ค่าน้ำหนักสูงสุดสูงมากกว่านี้ อย่างไรก็ตาม ด้วยข้อมูลชุดนี้อันมานได้ว่าค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 765 ตันนั้นใกล้เคียงค่ากำลังแบกทานประลัยภายใต้หลักเกณฑ์ของกฎกระทรวงนี้ ดังนั้น กำลังแบกทานที่ยอมให้จึงควรคิดจากร้อยละ 50 ของ 765 ตันซึ่งเท่ากับ 383 ตัน หากเทียบกับผลจากการคำนวณ 967 ตันและใช้ค่าร้อยละ 40 จะได้ค่า 387 ตัน ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี FHWA (1999) กับผลการทดสอบเสาเข็มในสนามโดยพิจารณาใช้สัดส่วนความปลอดภัยตามกฎกระทรวงมีความสอดคล้องดีกันมาก

อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังแบกทานที่ยอมให้ของเสาเข็มนั้นจะต้องตรวจสอบความสามารถรับกำลังอัดของหน้าตัดเสาเข็มที่มาจากกำลังอัดของคอนกรีตด้วย พิจารณาใช้กำลังอัดของคอนกรีตที่ยอมให้คือ 60 กก/ซม<sup>2</sup> (กฎกระทรวงมหาดไทยฉบับที่ 6 พศ.2527) นำมาคูณพื้นที่หน้าตัดจะได้กำลังแบกทานที่ยอมให้ประมาณ 300 ตัน (เสาเข็มต้นนี้ออกแบบรับน้ำหนักบรรทุกที่ 300 ตัน) ในกรณีนี้แปลว่าแรงดันจากชั้นดินและหินที่ปลายเสาเข็มสูงกว่าเกือบ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการกำหนดระยะฝังในหินอย่างน้อย 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอาจเป็นการอนุรักษ์นิยมเกินไปหรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหินที่มีคุณภาพดี เพราะค่าก่อสร้างเสาเข็มชนิดนี้มีราคาสูงมากอันเกิดจากความลึกที่เจาะหลุมฝังปลายเสาเข็มในหินนั่นเอง

## 6. สรุปผล

การวิเคราะห์กำลังแบกทานของเสาเข็มชนิดปลายฝังในชั้นหินด้วยวิธี FHWA (1999) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งจากหลายวิธี ข้อดีของวิธีนี้คือสูตรที่ใช้ในการคำนวณไม่ซับซ้อน มีการพิจารณาชนิด ค่า RQD กำลังอัด รวมถึงระดับความผุพังของหิน ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์เสาเข็มชนิดปลายฝังในชั้นหิน เสาเข็มเจาะเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.80 ม. ยาว 19 ม. ส่วนอยู่ในชั้นทราย 16.5 ม. และมีระยะฝังในหินประมาณ 2.5 ม. ค่ากำลังแบกทานที่ยอมให้จากการคำนวณมีค่า 387 ตัน มีความสอดคล้องดีมากกับค่าจากการทดสอบเสาเข็มในสนามที่ 383 ตัน โดยใช้ค่าสัดส่วนความปลอดภัย 2.5 เท่าและ 2 เท่าสำหรับ

ผลจากการคำนวณและผลทดสอบในสนาม ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าจำกัดความสามารถรับน้ำหนักของหน้าตัดเสาเข็มด้วยกำลังของคอนกรีตที่ร้อยละ 25 ของกำลังอัดประลัยคอนกรีตหรือไม่เกิน 60 กก/ซม<sup>2</sup> (300 ตัน) บอกเป็นนัยว่ามีแนวโน้มจะทำให้ระยะฝังในชั้นหินอาจจะใช้สั้นกว่า 3 เท่าก็เป็นได้

## 7. ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตาม ผลที่แสดงในบทความนี้เป็นการเปรียบเทียบกับเสาเข็มเพียงต้นเดียว ในทางปฏิบัติ ค่าจากการคำนวณอาจมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่ทดสอบในสนามได้ จากปัจจัยความแปรปรวนของคุณสมบัติหินในตำแหน่งเสาเข็มต้นที่ทดสอบกับคุณสมบัติที่ตำแหน่งของหลุมเจาะ นอกจากนี้ กำลังแบกทานของเสาเข็มจริงในสนามที่ทดสอบได้ยังขึ้นกับปัจจัยสำคัญอื่นเช่น คุณภาพในการก่อสร้างเสาเข็ม การเตรียมกันหลุมก่อนเทคอนกรีต รวมถึงความแม่นยำในการวัดค่าการทรุดตัวระหว่างการทดสอบ ในอนาคตหากมีจำนวนข้อมูลทดสอบเสาเข็มมากขึ้นจะช่วยยืนยันผลลัพธ์จากวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ได้มั่นใจมากขึ้น

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอบขอบคุณ คุณพงศ์ศักดิ์ แซ่หลี และบริษัทแคลสแลบ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ข้อมูลสำรวจชั้นดินและผลการทดสอบเสาเข็มเพื่อใช้เป็นประโยชน์ทางวิชาการและการศึกษาที่นำเสนอในบทความนี้

## 9. เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวงฉบับที่ 6 พ.ศ. 2527 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 (ฉบับพิเศษ) พ.ศ. 2527. (2527, 11 ตุลาคม). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 101 ตอนที่ 143, หน้า 10-29.
- บริษัทแคลสแลบ(ประเทศไทย) จำกัด (2563). รายงานเจาะสำรวจสภาพชั้นดินโครงการก่อสร้างปรับปรุงทางแยกต่างระดับเขาไม้แก้วจุดตัดทางหลวงหมายเลข 36 จังหวัดชลบุรี-จังหวัดระยอง.
- บริษัทแคลสแลบ(ประเทศไทย) จำกัด (2564). รายงานการทดสอบการรับแรงอัดของเสาเข็มเจาะโดยวิธีทางสถิตศาสตร์ (Static Pile Load Test) โครงการก่อสร้างปรับปรุงทางแยกต่างระดับเขาไม้แก้ว จ.ชลบุรี จ.ระยอง 1 แห่ง
- สยาม ยัมศิริ (2559). กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มชนิดปลายฝังในหินในเขตเมืองพัทยา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. โครงการวิจัยประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559, มหาวิทยาลัยบูรพา
- American Society of Civil Engineers (1997). Standard Guidelines for the Design and Installation of Pile Foundations; ASCE 20-9; ASCE: Reston, VA, USA.
- Kim, S.J., Sun Yong Kwon, S.Y., Han, J.T. and Yoo, M. (2019). Development of Rock Embedded Drilled Shaft Resistance Factors in Korea based on Field Tests. Applied Science, 9 , p.1-17. doi.org/10.3390/app9112201
- O’Niel, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drill Shafts: Construction Procedure and Design Method. Publication No. FHWA-IF-99-025, Federal Highway Administration, USA.
- Peck, R.B., Hanson, W.E., and Thornburn, T.H., (1974). Foundation Engineering, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Rowe, R.K. & Armitage, H.H. (1987). A Design Method for Drilled Pile in Soft Rock. Canadian Geotechnical Journal, 24, 126-142.

Zhang, L. (1997). Analysis and Design of Axially Loaded Drilled Shafts Socketed into Rock. M.Sc. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, USA.

**การพัฒนาโมเดลพยากรณ์สำหรับปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ต  
โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม**  
**DEVELOPMENT FORECASTING MODEL FOR INTERNET DATA TRANSFER USING  
NEURAL NETWORK TECHNIQUE**

นัทวุฒิ ขันธสิกรม<sup>1</sup> ศรันย์ นาคณอม<sup>2</sup> และ เตจต์สินป์ เพียชัย<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ศูนย์วิทยบริการและชุมชนสัมพันธ์ มสธ. นครสวรรค์ 105/35 ม.10 ต. นครสวรรค์คก อ. เมือง จ. นครสวรรค์,

E-Mail: Nattawut.kha@stou.ac.th

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 9/9 หมู่ 9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120,

E-Mail: Sarun.nak@stou.ac.th

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 9/9 หมู่ 9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120,

E-Mail: Tejtasin.phia@stou.ac.th

Nattawut Khantagaskham<sup>1</sup>, Sarun Nakthanom<sup>2</sup> and Tejtasin Phiasai<sup>3</sup>

<sup>1</sup>School of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

<sup>2</sup>School of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

<sup>3</sup>School of Science and Technology Sukhothai Thammathirat Open University

วันที่รับบทความ 30 กันยายน 2565

วันแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษารูปแบบการพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (2) พัฒนาโมเดลพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม และ (3) ประเมินประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้ในการพยากรณ์โดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหารูปแบบในการพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสม

ผู้วิจัยใช้ข้อมูลปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตจากบริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติจำกัด (มหาชน) เดือนมกราคมถึง ธันวาคม 2564 จำนวนทั้งสิ้น 12 ชุดข้อมูลและทำการแบ่งข้อมูลแต่ละชุดออกเป็น 2 ชุดประกอบด้วย ชุดที่ 1 สำหรับการเรียนรู้โมเดลพยากรณ์ ชุดที่ 2 สำหรับการทดสอบโมเดลพยากรณ์ด้วยอัตราส่วน 70 ต่อ 30 ข้อมูลนำเข้า (n) สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับมี 5 โหนดและมีผลลัพธ์ 1 โหนดและใช้อัลกอริธึมเลเวนเบอร์ก-มาร์ควอร์ทในการฝึกสอนโครงข่ายสำหรับการปรับค่าน้ำหนัก ค่าไบแอส และค่าจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่แตกต่างกันเพื่อออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมที่ทำให้ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) ต่ำที่สุด

ผลการวิจัยพบว่า (1) รูปแบบการพยากรณ์โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพอร์เซปตรอนหลายชั้นแบบแพร่ย้อนกลับเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ต (2) โมเดลดังกล่าวได้ใช้เทคนิคของอัลกอริธึมเลเวนเบอร์ก-มาร์ควอร์ทสำหรับการพัฒนาโมเดลเพื่อหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสมได้เท่ากับ 2 เท่าของ n

และผลจากการประเมินประสิทธิภาพพบว่า (3) โมเดลการพยากรณ์ที่ได้ทำการพัฒนาเพื่อพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตสำหรับโมเดลแบบ 1n, 2n, 3n, 4n, และ 5n มีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของการพยากรณ์เป็น 3.59, 3.01, 4.02, 4.08 และ 5.95 ตามลำดับ โดยการพยากรณ์ของโมเดลแบบ 2n เป็นโมเดลที่ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด

**คำสำคัญ:** โมเดลพยากรณ์ โครงข่ายประสาทเทียม การวัดประสิทธิภาพ ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

#### ABSTRACT

The objectives of this study were: (1) to study the forecasting model of Internet traffic volume using neural network techniques, (2) to develop the forecasting model for Internet traffic using neural network techniques, and (3) to evaluate an effectiveness of forecasting models by neural network techniques.

The researcher used the 12 data sets of National Telecom Public Company Limited between Januarys to December 2021 and divided each data set into 2 sets. The first set is for learning forecast models and the second set is for testing predictive models with a ratio of 70 to 30. The input node (n) for a backward propagation neural network has 5 nodes and the output has 1 node and the neural network uses the Levenberg-Marquardt algorithm to train the network for tuning weights, bias values, and the number of nodes in different hidden layers to design a neural network that makes the lowest of the Mean Absolute Percentage Error (MAPE).

The results showed that (1) the forecasting model was a multi-layer perceptron neural network technique suitability for forecasting Internet traffic and (2) the model was developed using the technique of the Levenberg-Marquardt algorithm to find the optimum number of nodes in the hidden layer equal to 2 times of input data and the result of the performance evaluation found that (3) the forecasting model has been developed to forecast Internet traffic for 1n, 2n, 3n, 4n and 5n models have the MAPE are 3.59, 3.01, 4.02, 4.08, and 5.95 respectively which the 2n model was the model that gives the lowest value of MAPE.

**Keywords:** Predictive models, Neural networks, Performance measurement, Mean Absolute Percentage Error.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันการใช้งานอินเทอร์เน็ตถูกใช้งานผ่านกิจกรรมในหลากหลายรูปแบบทั้งได้เพิ่มปริมาณการใช้งานที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้อัตราการการรับส่งข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นองค์กรจึงมีความต้องการอินเทอร์เน็ตหรือช่องทางการรับส่งข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต (Bandwidth) ที่สูงขึ้นด้วย โดยเฉพาะหน่วยงานที่มีการทำกิจกรรมหรือการให้บริการในรูปแบบออนไลน์ อาทิเช่น สถาบันทางการเงินการธนาคาร หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่มีการดำเนินการในรูปแบบอื่นที่ใช้อินเทอร์เน็ตเป็นสื่อหลักในการดำเนินงาน สถาบันทางด้านการศึกษาของประเทศไทย รวมทั้งมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศซึ่งในปัจจุบันได้ผันเปลี่ยนกิจกรรมมาดำเนินการในการให้บริการหรือการปฏิบัติงานในรูปแบบออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุเหล่านี้จึงทำให้เกิดความต้องการสำหรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตในรูปแบบต่าง ๆ ที่หลากหลายมากขึ้นส่งผลให้ความต้องการอินเทอร์เน็ตสำหรับช่องทางสำหรับการสื่อสารที่สามารถรองรับกับปริมาณการใช้งานที่เพียงพอต่อการใช้หรือการให้บริการอยู่ในขณะนั้น และต้องยังสามารถรองรับปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นได้หากปริมาณการใช้งานมีจำนวนมากขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาขณะการใช้งานอินเทอร์เน็ตหรือที่เรียกว่ากันทั่วไประบบอินเทอร์เน็ตล่มระหว่างการใช้นั้นเอง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาโมเดลพยากรณ์สำหรับปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตซึ่งข้อมูลที่น่าสนใจนำมาพัฒนาโมเดลพยากรณ์นั้นได้ขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากบริษัทโทรคมนาคมแห่งชาติจำกัด (มหาชน) โดยนำข้อมูลปริมาณการใช้งานอินเทอร์เน็ตตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2564 ประกอบด้วยข้อมูลศูนย์วิทยบริการและชุมชนสัมพันธ์ มสธ. จำนวน 10 แห่ง ชุมสายอินเทอร์เน็ตจำนวน 3 แห่ง โดยทำการรวบรวมข้อมูล ศึกษาและเรียบเรียงข้อมูลเพื่อให้พร้อมและเป็นไปตามรูปแบบของเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาโมเดลการพยากรณ์ จากนั้นทำการแบ่งข้อมูลเพื่อใช้ในขั้นตอนการพัฒนาโมเดลสำหรับการหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม อัลกอริทึม Levenberg-Marquardt แบบ Backward propagation เพื่อค่าโมเดลที่ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบการพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม
2. เพื่อพัฒนาโมเดลพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ต โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโมเดลที่ใช้ในการพยากรณ์ โดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม

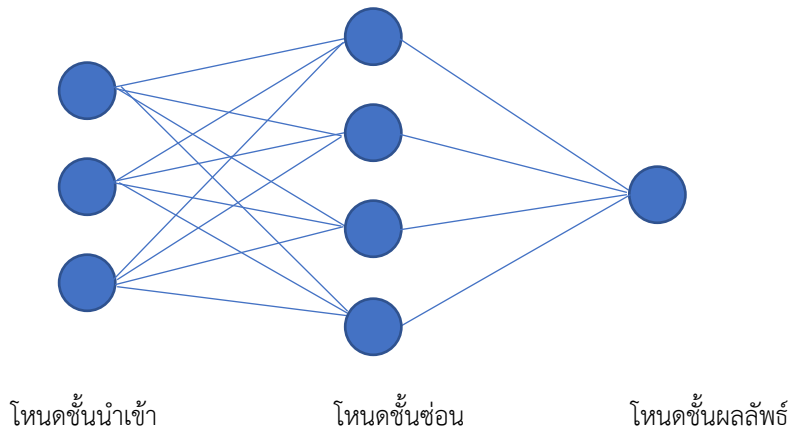
## 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

**3.1 การพยากรณ์** หมายถึง การคาดเดาเหตุการณ์ หรือการทำนายการเกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ ในเบื้องหน้า โดยการพยากรณ์จะทำการศึกษาลักษณะแนวโน้มหรือรูปแบบของการเกิดเหตุการณ์ตามข้อมูลที่มีอยู่ในอดีตมาพิจารณา ในการพยากรณ์ (นิภา นิรุตติกุล, 2558)

**3.2 ข้อมูลอนุกรมเวลา** หมายถึง ชุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมและมีการจัดลำดับให้มีความต่อเนื่องกันเป็นช่วง ๆ ภายใต้อายุเวลาที่เพิ่มขึ้น เช่น ทุก ๆ 7 วัน ทุก ๆ 1 เดือนหรือปี โดยจะต้องเก็บข้อมูลอย่างละเอียดและต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลาหนึ่งตามความต้องการและเหมาะสม เช่น ข้อมูลบันทึกปริมาณของน้ำในเขื่อนรายวัน จำนวนนักเรียนที่ใช้บริการในห้องสมุด ข้อมูลหุ้นในตลาดหลักทรัพย์ เป็นต้น ซึ่งจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาในการจัดเก็บเริ่มต้นและระยะเวลาสิ้นสุดเท่า ๆ กัน ซึ่งการจัดเก็บข้อมูลอนุกรมเวลามีวัตถุประสงค์ที่สำคัญเพื่อการสร้างแบบจำลองสำหรับการทำนายจำนวนหรือปริมาณที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยปัจจุบันข้อมูลอนุกรมเวลาได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับงานวิจัยในศาสตร์และแขนงต่าง ๆ เช่น วิทยาการ

ด้านหุ่นยนต์ อุตสาหกรรม การเงิน และการแพทย์ เป็นต้น ข้อมูลอนุกรมเวลาจะมีลักษณะขึ้นลงหรืออาจจะมีความราบเรียบ ซึ่งการขึ้นลงของข้อมูลจะมีความผันแปรจากสาเหตุหลาย ๆ ประการ เช่น แปรผันตามฤดูกาล แปรผันตามวัฏจักร หรือการผันแปรแบบผิดปกติ การนำเสนอข้อมูลอนุกรมเวลาทำได้ทั้งในรูปตารางและรูปแบบกราฟซึ่งการนำเสนอข้อมูลในรูปกราฟจะทำให้มองเห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น (ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ อภินันท์ จุ่นกรณ์ และมงคล รวดจันทร์, 2563)

**3.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network: ANN)** เป็นส่วนหนึ่งในศาสตร์การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) โดยทั้งนี้จะเป็นการจำลองการทำงานของเซลล์ประสาท (Neural) ของสิ่งมีชีวิตที่สามารถนำไปใช้ประยุกต์ได้หลากหลาย เช่น การหาค่าความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในข้อมูลที่ซับซ้อนในการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) ตลอดจนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการจดจำรูปแบบ (Pattern recognition) ได้ ซึ่งแนวคิดดังกล่าวนี้จะเริ่มจากการพัฒนาเพอร์เซพตรอน (Perceptron) ซึ่งเป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งที่ถูกคิดค้นโดยแฟรงค์ โรเซนบลัทท์ ในปีคริสต์ศักราช 1957 ทั้งนี้ยังไม่ได้ได้รับความสนใจมากนักเนื่องจากสามารถเรียนรู้ได้เพียงแค่ปัญหาเชิงเส้นเท่านั้นซึ่งหลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนได้ค้นพบวิธี Feedforward neural network หรือเรียกได้ว่า Multilayers perceptron ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีแบบเดิม อีกทั้งเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันมีความก้าวหน้ามากขึ้นจึงทำให้โครงข่ายประสาทเทียมได้รับการยอมรับมากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียม

### 3.4 โครงสร้างพื้นฐานของนิวรอน

โครงสร้างพื้นฐานของนิวรอนที่มีข้อมูลอินพุต โดยอินพุต  $p$  จะถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักประสาท (Weight:  $w$ ) โดยมีไบอัส (Bias:  $b$ ) หรือ ออฟเซต (Offset) เป็นอีกอินพุตที่มีค่าน้ำหนักเหมือนเดิมเท่ากับหนึ่ง โดยอินพุตรวม (Sum) จะได้เอาต์พุตเป็นจำนวน  $n$  ซึ่งมักเรียกว่า “เน็ตอินพุต” (Net Input) ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันในการกระตุ้น (Activation Function) หรือเป็นฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Function:  $f$ ) และจะได้เอาต์พุตของนิวรอนเป็นค่า  $a$  ตามสมการ (1)

$$a = f(Wp + b) \quad (1)$$

โดย

a = เอาต์พุต

w = น้ำหนักประสาท

f = ฟังก์ชันถ่ายโอน

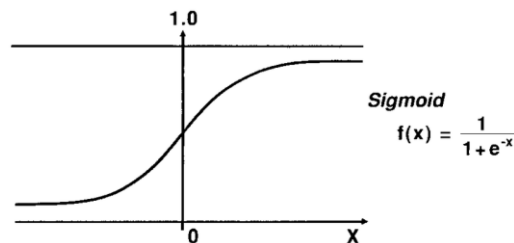
p = อินพุต

b = ไบอัส

### 3.5 ฟังก์ชันการถ่ายโอน (Transfer Functions)

ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่ใช้ในการทำงานจะมีทั้งอยู่ในรูปแบบเชิงเส้นหรือไม่เชิงเส้น การเลือกใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนจะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบที่นำไปปรับใช้งาน ฟังก์ชันการถ่ายโอนจะใช้ในการคำนวณการตอบสนองของเอาต์พุตในนิเวศน์ โดยการรวบรวมข้อมูลที่ป้อนเข้ากับน้ำหนักในโครงข่ายประสาทผ่านฟังก์ชันการถ่ายโอนซึ่งจะได้ค่าที่ตอบสนองเอาต์พุตสำหรับนิเวศน์ที่อยู่ในชั้นเดียวกันจะใช้ฟังก์ชันการถ่ายโอนที่เหมือนกัน ซึ่งฟังก์ชันการถ่ายโอนที่เหมือนกันมีหลากหลายรูปแบบและที่เป็นที่นิยมใช้งานมาก ได้แก่ ฟังก์ชัน Sigmoid function ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่มีรูปแบบที่มีลักษณะเหมือนกับรูปตัวเอส (S)

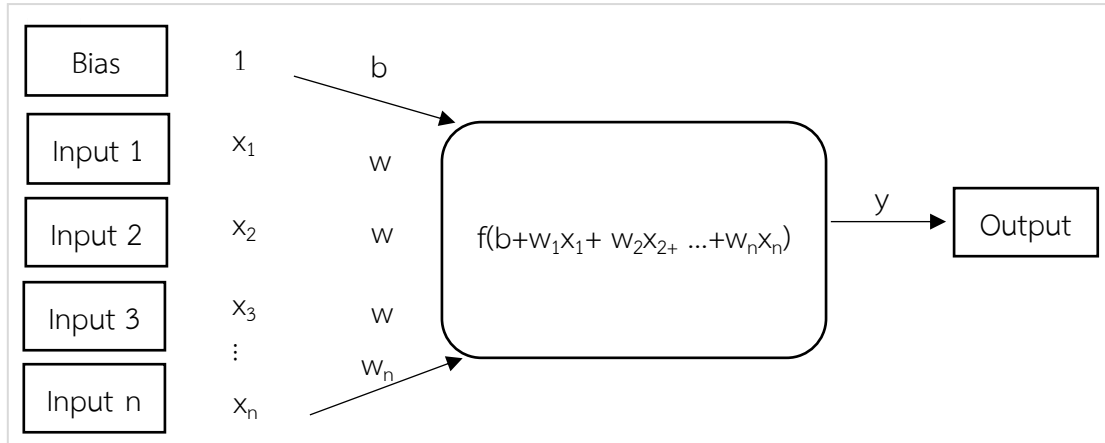
$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$



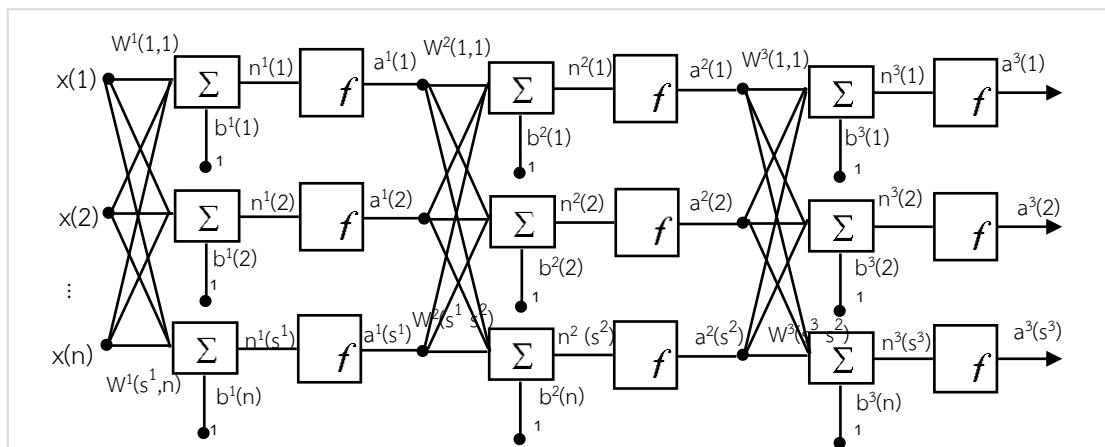
รูปที่ 2 ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Functions)

### 3.6 การเรียนรู้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม

Lavenberg – Marquardt (LM) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการเรียนรู้หรือกระบวนการฝึกสอนในโครงข่ายประสาทเทียมโดยการทำงานจำเป็นจะต้องมีข้อมูลที่ประกอบด้วยข้อมูลจำนวนสามกลุ่ม คือ 1) ข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ (Training) 2) ข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ (Validation) และ 3) ข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing) โดยความแม่นยำของการใช้อัลกอริทึม Lavenberg – Marquardt จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลกลุ่มของข้อมูลที่ใช้สำหรับการตรวจสอบซึ่งหากกลุ่มข้อมูลสำหรับการตรวจสอบมีรูปแบบที่เหมือนกับกลุ่มข้อมูลสำหรับทดสอบจะทำให้โมเดลมีความแม่นยำมากและมีความเหมาะสมกับงานข้อมูลเกือบทุกด้าน ซึ่งการเรียนรู้อัลกอริทึมแบบ LM นี้ยังเป็นกระบวนการเรียนรู้ที่มีความรวดเร็วมากแต่จะลดลงเมื่อมีจำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้าหรือจำนวนโหนดชั้นซ่อนเร้น (Hidden layer) ที่มากขึ้นหรือมีเป็นจำนวนมาก (รสริน โคตรเสนา และ อัจฉราพรรณ ประทุมณี, 2563)



รูปที่ 3 แผนภาพการแสดงผลการทำงานของเพอร์เซปตรอนอย่างง่าย



รูปที่ 4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

ที่มา: Hagan and Menhaj, 1994

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| ชื่อผู้วิจัย                                  | เทคนิควิธีการ/อัลกอริทึมที่ใช้ |                    |                               |                    |                             |                                 | การวัดผล/ประสิทธิภาพ |      |     |     |          |
|-----------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|------|-----|-----|----------|
|                                               | Neural Network                 | การพยากรณ์ทางสถิติ | ปรับเรียงลำดับแบบ Holt-Winter | การเรียนรู้เชิงลึก | บอยล์-เจกินส์ (Box-Jenkins) | Support vector regression (SVR) | RMSE                 | MAPE | MAE | MSE | Other    |
| รณชัย ชื่นธวัช และคณะ, 2560                   |                                | ✓                  |                               |                    |                             | ✓                               | ✓                    | ✓    |     |     |          |
| ผุสดี บุญรอด และกรวิวัฒน์ พลเยี่ยม, 2560      | ✓                              |                    |                               |                    |                             |                                 |                      | ✓    |     |     |          |
| ไวยวิทย์ พานิชอักษร และ มหศักดิ์ เกตุผา, 2560 | ✓                              |                    |                               |                    |                             |                                 |                      |      |     | ✓   |          |
| จามรี ชูบัวทอง และสมศรี บัณฑิตวิไล, 2560      | ✓                              |                    |                               |                    |                             |                                 |                      |      |     |     | TPR, TNR |
| ยุพิน ไชยสมภาร และทวี ชัยพิมลผลิน, 2560       | ✓                              |                    |                               |                    |                             |                                 |                      |      |     |     |          |
| ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ์ อภินันท์ จันทกรณ, 2563     | ✓                              |                    |                               |                    |                             |                                 | ✓                    |      |     | ✓   |          |

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

| ชื่อผู้วิจัย                              | เทคนิควิธีการ/อัลกอริทึมที่ใช้ |                    |                                  |                    |                                |                                 | การวัดผล/ประสิทธิภาพ |      |     |     |       |
|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|------|-----|-----|-------|
|                                           | Neural Network                 | การพยากรณ์ทางสถิติ | ปรับเรียบเชิงเส้นแบบ Holt-Winter | การเรียนรู้เชิงลึก | บอตซ์ - เจนกินส์ (Box-Jenkins) | Support vector regression (SVR) | RMSE                 | MAPE | MAE | MSE | Other |
| พรรณนิภา คุมสิน และสมศรี บัณฑิตวิไล, 2561 | ✓                              |                    |                                  |                    |                                |                                 | ✓                    | ✓    |     |     |       |
| ราตรี คำโมง และ สุพจน์ หอมดอก, 2562       | ✓                              |                    |                                  |                    |                                |                                 |                      | ✓    |     |     |       |

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

##### 4.1. ศึกษาหลักการทำงาน

4.1.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งสัญญาณไปข้างหน้า (feedforward artificial neural network หรือ Forward Propagation) เป็นโครงข่ายประสาทเทียมที่ประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ โดยชั้นแรกจะเป็นชั้นข้อมูลนำเข้า (input layer) และชั้นสุดท้ายเป็นชั้นผลลัพธ์ (output layer) ส่วนระหว่างชั้นข้อมูลนำเข้ากับชั้นผลลัพธ์อาจมีหรือไม่มีชั้นซ่อน (hidden layer) อยู่ภายในก็ได้ซึ่งขึ้นกับกฎการเรียนรู้ที่ใช้ในการสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยการเชื่อมต่อระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียมแบบส่งสัญญาณไปข้างหน้าจะมีค่าถ่วงน้ำหนักเป็นตัวเชื่อม และสัญญาณนำเข้าที่เข้ามาจะถูกส่งไปตามทิศทางของลูกศรที่มีการจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่เป็นแบบทางเดียวหรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยโครงข่ายมีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ นั่นคือ ที่ไหนตทุกโหนดในชั้นที่กำหนดเชื่อมต่อกันทุกโหนดกับชั้นถัดไปจนถึงชั้นผลลัพธ์โดยไม่มีการย้อนกลับ

4.1.2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่ย้อนกลับ (Backward Propagation) ประกอบด้วยชั้นนิวรอลที่เรียงต่อกัน ได้แก่ ชั้นอินพุต (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) โดยแต่ละชั้นจะส่งสัญญาณไปยังทุก ๆ นิวรอนถัดไปซึ่งในการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอนมีค่าที่สามารถปรับค่าได้เรียกส่วนนี้ว่า ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias) ผ่านไปยังทรานเฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) โดยเมื่อมีข้อมูลนำเข้ามายังชั้นอินพุต ที่จำนวนข้อมูล R ข้อมูล Network จะนำข้อมูลที่เข้าทำการคูณค่าน้ำหนักของแต่ละขาข้อมูลแล้วนำแต่ละนิวรอนที่ถูกคูณมารวมกันและเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจะใช้การฝึกสอนด้วย Levenberg Marquardt Algorithm

##### 4.2 การรวบรวมข้อมูลสำหรับงานวิจัย

ประชากร ปริมาณการรับ - ส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตของมหาวิทยาลัย

กลุ่มตัวอย่าง ปริมาณการรับ - ส่งข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 เป็นระยะเวลา 1 ปี ของศูนย์บริการจำนวน 10 แห่ง และชุมสายอินเทอร์เน็ต 3 แห่ง

##### 4.3 การทำความสะอาดข้อมูล

การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) เป็นการทำงานที่เกี่ยวกับการตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่ถูกต้องและสมบูรณ์ โดยขั้นตอนของการทำความสะอาดข้อมูลนับเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญของการเตรียมข้อมูล ซึ่งถ้าข้อมูลไม่มีความถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ อาจส่งผลให้คำตอบหรือข้อสรุปที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นในการทำทำความสะอาดข้อมูลนั้นจึงต้องตรวจสอบว่ามีข้อผิดพลาดอะไรเกิดขึ้นกับข้อมูลบ้าง เช่น มีการจัดเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อน (Duplicate data) ข้อมูลไม่ตรงกัน (Incorrectly data) ข้อมูลเก่าล้าสมัย (Expired data) เกิดการสูญหายของข้อมูลบางส่วน (Missing value) มีค่าข้อมูลที่มีความผิดปกติหรือแตกต่างไปจากข้อมูลในกลุ่ม (Outliers) เป็นต้น จากนั้นทำการปรับปรุงข้อมูลโดยอาจใช้การแทนที่ด้วยค่าใหม่ หรือทำการลบข้อมูลที่ไม่ถูกต้องเหล่านั้นออกไป (ไกรศักดิ์ เกษร, 2564)

#### 4.4 การพัฒนาโมเดลพยากรณ์ด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม

การพัฒนาโมเดลที่ใช้ในการพยากรณ์ จะเป็นขั้นตอนการนำข้อมูลจากประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ทำการสร้างโมเดลโดยได้เลือกใช้วิธีการสร้างโมเดลแบบมีการฝึกสอนโดยนำข้อมูลในอดีตที่ผ่านมาทำการรวบรวมและจัดหมวดหมู่ของข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการสร้างโมเดลด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม โดยจะทำการแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วน โดยข้อมูลส่วนแรกจะเป็นการใช้สำหรับฝึกสอนโมเดลแบ่งเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลส่วนที่สองจะเป็นการใช้สำหรับการทดสอบโมเดล โดยดูจากค่าที่ได้จากการวัดค่าประสิทธิภาพจากการพิจารณาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (Mean Squared Error : MSE) และค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error : MAPE) ที่ต่ำที่สุด โดยพิจารณาจากโหนดที่เป็นชั้นซ่อน (Hidden Layer) โดยกำหนดเป็น 0.5n, 1n, 2n, 3n, 4n และ 5n ซึ่ง n จะแทนจำนวนข้อมูลของชั้นนำเข้า (Input Layer)

#### 4.5 เกณฑ์วัดประสิทธิภาพโมเดลพยากรณ์

เกณฑ์วัดประสิทธิภาพจากโมเดลการพยากรณ์ที่สร้างขึ้นจะใช้วิธีการคำนวณค่า MSE และ ค่า MAPE ซึ่งจะหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุดในการวัดความถูกต้องของโมเดลการพยากรณ์ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

##### 4.5.1 ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Error; MSE)

ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยคือ ค่าเฉลี่ยของค่ากำลังสองของค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ซึ่งจุดเด่นของ MSE นั่นก็คือ การใช้การยกกำลังสองเพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ที่ติดลบกลายเป็นบวกและรูปแบบของการคำนวณมีความสัมพันธ์กับหลักการทางสถิติอื่นๆ (กรินทร์ กาญจน (2561) เช่น การคำนวณค่าความแปรปรวน ในขณะที่จุดด้อยของ MSE ก็คือในกรณีที่ค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์มีค่ามาก เมื่อมีการยกกำลังสองเข้าไปก็มีค่าดังกล่าวมีค่ามากขึ้นและสามารถแสดงได้ดังสมการ (3)

$$MSE = \sum \frac{|A_t - F_t|^2}{N} \quad (3)$$

##### 4.5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Percentage Error; MAPE)

ค่าเปอร์เซ็นต์คลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย คือค่าสัมบูรณ์ของค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ซึ่งจุดเด่นของ MAPE ก็คือไม่ผูกพันกับค่าของตัวแปรที่ต้องการจะพยากรณ์ แต่มีการแสดงออกมาในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจของบุคคลต่าง ๆ (กรินทร์ กาญจน (2561) ตัวอย่างเช่น หากค่า MAPE มีค่าเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ ก็จะเข้าใจได้ในทันทีว่าค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์นั้นมีค่าเท่ากับเท่าไร เพื่อให้สามารถตีความระดับความแม่นยำจากค่า MAPE ได้ ได้มีการพัฒนาระดับในการวัดเพื่อใช้ในการตีความค่าของ MAPE ดังต่อไปนี้

$$MAPE = \sum \frac{|A_t - F_t| \times 100}{N} \quad (4)$$

โดยที่

$F_t$  หมายถึง ค่าพยากรณ์ในงวดที่ 1

$A_t$  หมายถึง ค่าที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลา t

$N$  หมายถึง จำนวนข้อมูล

## 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ข้อมูลตารางการสร้างโมเดลในการพยากรณ์ปริมาณการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมโดยแสดงค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error, MAPE) ของค่าการ Download และ Upload ของศูนย์จำนวน 10 แห่ง และอีก 3 ชุมสาย ตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง ธันวาคม 2564 ซึ่งชุดข้อมูลก็นำมาใช้ในการพัฒนาโมเดลมีลักษณะเป็นข้อมูลอนุกรมเวลาและใช้อัลกอริทึม Lavenberg-Marquardt (trainlm) ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยได้กำหนดเลเยอร์ชั้นซ่อนอ้างอิงตามทฤษฎีของ ธิษณปัทมา คนโทนิมพลี และคณะ (2561) การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม และ ยุพิน ไชยสมภาร ทวี ชัยพิมลสิน. (2560) การพยากรณ์ระดับน้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 จากการศึกษาในทฤษฎีดังกล่าว พบว่าการกำหนดเลเยอร์ชั้นซ่อน (Hidden Layer) จะทำการกำหนดค่าเท่ากับ 0.5n, 1n และ 2n เมื่อ n จำนวนตัวแปรข้อมูลนำเข้า ซึ่งมีผลลัพธ์ในการพยากรณ์ที่สรุปผลจากการทดลองได้ต่อไปนี้

การกำหนดเลเยอร์ชั้นซ่อนตามรูปแบบ 0.5n, 1n, 2n, 3n, 4n, 5n เมื่อ n คือ จำนวนข้อมูลนำเข้าซึ่งจะได้ว่า โมเดล 0.5n เป็น 5-3-1 ซึ่ง 5 แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า 3 แทนจำนวนข้อมูลเลเยอร์ชั้นซ่อน และ 1 แทนจำนวนข้อมูลผลลัพธ์ โมเดล 1n เป็น 5-5-1 ซึ่ง 5 แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า 5 แทนจำนวนข้อมูลเลเยอร์ชั้นซ่อน และ 1 แทนจำนวนข้อมูลผลลัพธ์ โมเดล 2n เป็น 5-10-1 ซึ่ง 5 แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า 10 แทนจำนวนข้อมูลเลเยอร์ชั้นซ่อน และ 1 แทนจำนวนข้อมูลผลลัพธ์ โมเดล 3n เป็น 5-15-1 ซึ่ง 5 แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า 15 แทนจำนวนข้อมูลเลเยอร์ชั้นซ่อน และ 1 แทนจำนวนข้อมูลผลลัพธ์ โมเดล 4n เป็น 5-20-1 ซึ่ง 5 แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า 20 แทนจำนวนข้อมูลเลเยอร์ชั้นซ่อน และ 1 แทนจำนวนข้อมูลผลลัพธ์ โมเดล 5n เป็น 5-25-1 ซึ่ง 5 แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า 25 แทนจำนวนข้อมูลเลเยอร์ชั้นซ่อน และ 1 แทนจำนวนข้อมูลผลลัพธ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาโมเดลพยากรณ์สรุปได้ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2** ค่าประสิทธิภาพ (ค่า MAPE) จากโมเดลพยากรณ์ปริมาณอินเทอร์เน็ตขาเข้า

| สถานที่              | INPUT (Download Data Transfer) |         |          |         |          |         |          |          |          |         |          |         |
|----------------------|--------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|
|                      | Model 0.5n                     |         | Model 1n |         | Model 2n |         | Model 3n |          | Model 4n |         | Model 5n |         |
|                      | MAPE                           | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R    | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   |
| ศูนย์ฯ ลำปาง         | 0.5081                         | 0.48596 | 0.2668   | 0.60984 | 0.3296   | 0.6929  | 1.2400   | 0.1176   | 0.5052   | 0.63985 | 1.0991   | 0.4093  |
| ศูนย์ฯ สุโขทัย       | 3.0036                         | 0.93902 | 1.8780   | 0.22331 | 4.5794   | 0.68633 | 1.8445   | 0.87605  | 2.0610   | 0.93623 | 10.5191  | 0.21771 |
| ศูนย์ฯ นครสวรรค์     | 4.8364                         | 0.99438 | 8.7700   | 0.9211  | 1.4968   | 0.98351 | 1.5042   | 0.88877  | 0.0182   | 0.99925 | 7.8023   | 0.9838  |
| ศูนย์ฯ อุตรดิตถ์     | 0.9597                         | 0.88022 | 2.2906   | 0.24686 | 1.3693   | 0.72674 | 4.0290   | 0.13444  | 1.3584   | 0.37262 | 4.2744   | 0.35306 |
| ศูนย์ฯ อุบลราชธานี   | 1.3721                         | 0.3299  | 1.7245   | 0.468   | 1.1628   | 0.68812 | 1.2467   | 0.52687  | 2.3894   | 0.3276  | 4.1941   | 0.15915 |
| ศูนย์ฯ นครนายก       | 6.2321                         | 0.42214 | 6.3301   | 0.0464  | 2.8658   | 0.79476 | 3.5057   | 0.73383  | 6.1636   | 0.43405 | 7.8819   | 0.61164 |
| ศูนย์ฯ เพชรบุรี      | 1.2079                         | 0.37983 | 0.8248   | 0.72259 | 1.7597   | 0.61281 | 1.0054   | 0.76727  | 1.7537   | 0.71342 | 3.6185   | 0.08779 |
| ศูนย์ฯ จันทบุรี      | 1.4003                         | 0.27149 | 1.3905   | 0.79271 | 0.8521   | 0.81596 | 1.2705   | 0.069213 | 4.1815   | 0.4415  | 4.5837   | 0.08461 |
| ศูนย์ฯ นครศรีธรรมราช | 11.5042                        | 0.56624 | 7.9908   | 0.8458  | 8.2212   | 0.77443 | 5.1140   | 0.60894  | 6.1361   | 0.71199 | 7.7924   | 0.12791 |
| ศูนย์ฯ ยะลา          | 5.6441                         | 0.99626 | 5.0781   | 0.9985  | 1.4215   | 0.99976 | 6.1369   | 0.99576  | 3.0195   | 0.94925 | 9.6721   | 0.98212 |
| ชุมสายหลักสี่        | 11.9835                        | 0.92264 | 4.9497   | 0.98312 | 5.1377   | 0.9716  | 6.5881   | 0.99461  | 2.2454   | 0.97468 | 6.1184   | 0.97624 |
| ชุมสายแจ้งวัฒนะ      | 4.6844                         | 0.89597 | 1.5839   | 0.90619 | 3.2139   | 0.98811 | 5.5786   | 0.74558  | 7.7503   | 0.93618 | 11.3021  | 0.88779 |
| ชุมสายปากเกร็ด       | 5.0367                         | 0.85595 | 8.8434   | 0.8988  | 5.3292   | 0.81518 | 7.6870   | 0.90643  | 7.6870   | 0.90643 | 5.5136   | 0.80692 |

ตารางที่ 3 ค่าประสิทธิภาพ (ค่า MAPE) จากโมเดลพยากรณ์ปริมาณอินเทอร์เน็ตขาออก

| สถานที่              | OUTPUT (Upload Data Transfer) |          |          |         |          |         |          |         |          |         |          |         |
|----------------------|-------------------------------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
|                      | Model 0.5n                    |          | Model 1n |         | Model 2n |         | Model 3n |         | Model 4n |         | Model 5n |         |
|                      | MAPE                          | ค่า R    | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   | MAPE     | ค่า R   |
| ศูนย์ฯ ลำปาง         | 3.0209                        | 0.2716   | 2.3293   | 0.17676 | 6.3325   | 0.77375 | 7.5225   | 0.64234 | 7.0050   | 0.72376 | 8.2667   | 0.51141 |
| ศูนย์ฯ สุโขทัย       | 0.7519                        | 0.73434  | 1.1053   | 0.69401 | 0.5963   | 0.79195 | 1.3369   | 0.41081 | 2.4297   | 0.29722 | 2.0251   | 0.09782 |
| ศูนย์ฯ นครสวรรค์     | 3.8319                        | 0.10694  | 5.1607   | 0.92303 | 0.0030   | 0.97322 | 7.9945   | 0.97793 | 4.2718   | 0.99277 | 12.1977  | 0.95933 |
| ศูนย์ฯ อุตรดิตถ์     | 0.8893                        | 0.1835   | 0.7996   | 0.54517 | 0.6102   | 0.69589 | 1.0535   | 0.21295 | 2.2007   | 0.08796 | 2.4797   | 0.21595 |
| ศูนย์ฯ อุบลราชธานี   | 1.2748                        | 0.44487  | 0.9510   | 0.41673 | 0.6014   | 0.6543  | 0.9122   | 0.31011 | 1.7301   | 0.25542 | 2.6765   | 0.22143 |
| ศูนย์ฯ นครนายก       | 5.3445                        | 0.083778 | 5.2404   | 0.24015 | 4.3126   | 0.50048 | 5.7416   | 0.24095 | 4.9240   | 0.24439 | 8.2059   | 0.4187  |
| ศูนย์ฯ เพชรบุรี      | 0.8243                        | 0.51994  | 0.8013   | 0.7406  | 0.9530   | 0.64238 | 2.0702   | 0.12501 | 1.1476   | 0.03207 | 2.4168   | 0.13586 |
| ศูนย์ฯ จันทบุรี      | 0.8236                        | 0.35392  | 0.8788   | 0.5209  | 0.5640   | 0.67647 | 1.4875   | 0.10097 | 3.1278   | 0.21382 | 2.7624   | 0.10509 |
| ศูนย์ฯ นครศรีธรรมราช | 8.5885                        | 0.88652  | 0.2579   | 0.11982 | 5.9441   | 0.9981  | 7.3850   | 0.28262 | 9.8646   | 0.99145 | 9.3334   | 0.21251 |
| ศูนย์ฯ ยะลา          | 0.3333                        | 0.99988  | 7.8314   | 0.92419 | 0.4744   | 0.99488 | 2.4575   | 0.99969 | 3.9409   | 0.9999  | 4.3700   | 0.98153 |
| ชุมสายหลักสี่        | 7.9402                        | 0.97807  | 5.9389   | 0.98016 | 8.9210   | 0.99027 | 6.3067   | 0.93714 | 8.4663   | 0.9624  | 4.6628   | 0.97044 |
| ชุมสายแจ้งวัฒนะ      | 8.6622                        | 0.81949  | 2.7483   | 0.96308 | 8.6622   | 0.81949 | 7.5213   | 0.9758  | 3.7647   | 0.96778 | 6.2261   | 0.96685 |
| ชุมสายปากเกร็ด       | 6.4986                        | 0.50139  | 7.4409   | 0.57113 | 2.4986   | 0.79136 | 6.1016   | 0.87235 | 8.0057   | 0.67108 | 4.6577   | 0.70691 |

## 6. สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาโมเดลพยากรณ์สำหรับปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อเปรียบเทียบหลายชั้นแบบแพร่ย้อนกลับเป็นรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยเป็นการพัฒนาโมเดลตามรูปแบบของทฤษฎีการกำหนดเลเยอร์ชั้นซ่อนที่เหมาะสมโดยใช้อัลกอริทึม Lavenberg - Marquardt เป็นกระบวนการในการเรียนรู้โดยการกำหนดจำนวนของเลเยอร์ชั้นซ่อนเป็นดังนี้ คือ 0.5n, 1n, 2n เมื่อ n แทนจำนวนข้อมูลนำเข้า (ยุพิน ไชยสมภาร และทวี ชัยพิมลพลิน, 2560) และเพิ่มจำนวนชั้นซ่อนเป็น 3n, 4n และ 5n โดยการวัดประสิทธิภาพจากการพิจารณาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดยกกำลังสอง (MSE) และค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) (จิษฐ์ปัทมา คนโทฉิมพลี และคณะ, 2561) ผลการวิจัยพบว่า การหาค่าของโมเดลที่ดีที่สุดจากโมเดลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นนั้นสามารถพิจารณาได้จากค่า MAPE โดยทำการพิจารณาร่วมกับค่าอิทธิพล R (Regression) ซึ่งหากมีค่าเข้าใกล้หนึ่งโดยที่ค่า MAPE ที่ได้จะสามารถยอมรับได้สำหรับงานวิจัยนี้นั้นต้องมีค่าในระดับไม่ต่ำกว่า 90 % ตามที่กำหนดไว้ในสมมติฐาน

โมเดลพยากรณ์ปริมาณอินเทอร์เน็ตทั้งขาเข้าและขาออกโดยอิงตามผลการวิจัย พบว่า โมเดลพยากรณ์ปริมาณอินเทอร์เน็ตขาเข้าและขาออกส่วนใหญ่ให้ผลการวิจัยโมเดลการพยากรณ์ที่มีความเหมาะสมและอยู่ในเกณฑ์สมมติฐานที่ยอมรับโดยโมเดลการพยากรณ์ที่ได้ทำการพัฒนาเพื่อพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตสำหรับโมเดลแบบ 1n, 2n, 3n, 4n, และ 5n มีค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของการพยากรณ์เป็น 3.59, 3.01, 4.02, 4.08 และ 5.95 ตามลำดับ ซึ่งโมเดลแบบ 2n เป็นโมเดลที่ให้ค่าเฉลี่ยร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุด โดยผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของยุพิน ไชยสมภาร และทวี ชัยพิมลพลิน กับ จิษฐ์ปัทมา คนโทฉิมพลี และคณะที่ได้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมโดยการกำหนดเลเยอร์ชั้นซ่อนในช่วง 0.5n - 2n ซึ่งให้ผลประสิทธิภาพของโมเดลที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพ (ค่า MAPE) จากโมเดลพยากรณ์ปริมาณการรับส่งอินเทอร์เน็ต

| สถานที่              | Model 0.5n |        |         | Model 1n |        |        | Model 2n |        |        | Model 3n |        |        | Model 4n |        |        | Model 5n |         |         |
|----------------------|------------|--------|---------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|---------|---------|
|                      | MAPE       |        |         | MAPE     |        |        | MAPE     |        |        | MAPE     |        |        | MAPE     |        |        | MAPE     |         |         |
|                      | ขาเข้า     | ขาออก  | เฉลี่ย  | ขาเข้า   | ขาออก  | เฉลี่ย | ขาเข้า   | ขาออก  | เฉลี่ย | ขาเข้า   | ขาออก  | เฉลี่ย | ขาเข้า   | ขาออก  | เฉลี่ย | ขาเข้า   | ขาออก   | เฉลี่ย  |
| ศูนย์ฯ ลำปาง         | 0.5081     | 3.0209 | 1.7645  | 0.2668   | 2.3293 | 1.2981 | 0.3296   | 6.3325 | 3.3311 | 1.24     | 7.5225 | 4.3813 | 0.5052   | 7.005  | 3.7551 | 1.0991   | 8.2667  | 4.6829  |
| ศูนย์ฯ สุโขทัย       | 3.0036     | 0.7519 | 1.8778  | 1.878    | 1.1053 | 1.4917 | 4.5794   | 0.5963 | 2.5879 | 1.8445   | 1.3369 | 1.5907 | 2.061    | 2.4297 | 2.2454 | 10.5191  | 2.0251  | 6.2721  |
| ศูนย์ฯ นครสวรรค์     | 4.8364     | 3.8319 | 4.3342  | 8.77     | 5.1607 | 6.9654 | 1.4968   | 0.003  | 0.7499 | 1.5042   | 7.9945 | 4.7494 | 0.0182   | 4.2718 | 2.1450 | 7.8023   | 12.1977 | 10.0000 |
| ศูนย์ฯ อุตรดิตถ์     | 0.9597     | 0.8893 | 0.9245  | 2.2906   | 0.7996 | 1.5451 | 1.3693   | 0.6102 | 0.9898 | 4.029    | 1.0535 | 2.5413 | 1.3584   | 2.2007 | 1.7796 | 4.2744   | 2.4797  | 3.3771  |
| ศูนย์ฯ อุบลราชธานี   | 1.3721     | 1.2748 | 1.3235  | 1.7245   | 0.951  | 1.3378 | 1.1628   | 0.6014 | 0.8821 | 1.2467   | 0.9122 | 1.0795 | 2.3894   | 1.7301 | 2.0598 | 4.1941   | 2.6765  | 3.4353  |
| ศูนย์ฯ นครนายก       | 6.2321     | 5.3445 | 5.7883  | 6.3301   | 5.2404 | 5.7853 | 2.8658   | 4.3126 | 3.5892 | 3.5057   | 5.7416 | 4.6237 | 6.1636   | 4.924  | 5.5438 | 7.8819   | 8.2059  | 8.0439  |
| ศูนย์ฯ เพชรบุรี      | 1.2079     | 0.8243 | 1.0161  | 0.8248   | 0.8013 | 0.8131 | 1.7597   | 0.953  | 1.3564 | 1.0054   | 2.0702 | 1.5378 | 1.7537   | 1.1476 | 1.4507 | 3.6185   | 2.4168  | 3.0177  |
| ศูนย์ฯ จันทบุรี      | 1.4003     | 0.8236 | 1.1120  | 1.3905   | 0.8788 | 1.1347 | 0.8521   | 0.564  | 0.7081 | 1.2705   | 1.4875 | 1.3790 | 4.1815   | 3.1278 | 3.6547 | 4.5837   | 2.7624  | 3.6731  |
| ศูนย์ฯ นครศรีธรรมราช | 11.5042    | 8.5885 | 10.0464 | 7.9908   | 0.2579 | 4.1244 | 8.2212   | 5.9441 | 7.0827 | 5.114    | 7.385  | 6.2495 | 6.1361   | 9.8646 | 8.0004 | 7.7924   | 9.3334  | 8.5629  |
| ศูนย์ฯ ยะลา          | 5.6441     | 0.3333 | 2.9887  | 5.0781   | 7.8314 | 6.4548 | 1.4215   | 0.4744 | 0.9480 | 6.1369   | 2.4575 | 4.2972 | 3.0195   | 3.9409 | 3.4802 | 9.6721   | 4.37    | 7.0211  |
| ชุมสายหลักสี่        | 11.9835    | 7.9402 | 9.9619  | 4.9497   | 5.9389 | 5.4443 | 5.1377   | 8.921  | 7.0294 | 6.5881   | 6.3067 | 6.4474 | 2.2454   | 8.4663 | 5.3559 | 6.1184   | 4.6628  | 5.3906  |
| ชุมสายแจ้งวัฒนะ      | 4.6844     | 8.6622 | 6.6733  | 1.5839   | 2.7483 | 2.1661 | 3.2139   | 8.6622 | 5.9381 | 5.5786   | 7.5213 | 6.5500 | 7.7503   | 3.7647 | 5.7575 | 11.3021  | 6.2261  | 8.7641  |
| ชุมสายปากเกร็ด       | 5.0367     | 6.4986 | 5.7677  | 8.8434   | 7.4409 | 8.1422 | 5.3292   | 2.4986 | 3.9139 | 7.687    | 6.1016 | 6.8943 | 7.687    | 8.0057 | 7.8464 | 5.5136   | 4.6577  | 5.0857  |
| ค่าเฉลี่ยของโมเดล    | 4.12       |        |         | 3.59     |        |        | 3.01     |        |        | 4.02     |        |        | 4.08     |        |        | 5.95     |         |         |

## 7. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำงานงานวิจัยนี้สามารถสรุปออกเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

1. การพยากรณ์ปริมาณการรับส่งข้อมูลอินเทอร์เน็ตโดยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมนี้ควรรวบรวมข้อมูลที่นำมาใช้ในการพัฒนาโมเดลให้มากขึ้นโดยอาจเป็นข้อมูลในระยะเวลา 2 ถึง 3 ปี ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความต่อเนื่องและเพื่อการวัดประสิทธิภาพของโมเดลที่พัฒนาให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น
2. ข้อมูลที่รวบรวมเพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาโมเดลนี้ได้รับรวบรวมมาในระหว่างสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ซึ่งอาจทำให้การปฏิบัติงานในด้านการใช้อินเทอร์เน็ตไม่เป็นไปตามสถานะที่เป็นอยู่จริงในการปฏิบัติงานของแต่ละสถานที่
3. ควรศึกษาแนวคิดทฤษฎีการกำหนดเลเยอร์ชั้นซ่อนที่มีความเกี่ยวข้องกับผลของการพัฒนาโมเดลพยากรณ์ซึ่งในปัจจุบันยังมีงานวิจัยในเรื่องดังกล่าวนี้ค่อนข้างน้อย และควรศึกษาการเลือกใช้อัลกอริทึมในรูปแบบต่าง ๆ สำหรับพัฒนาโมเดลเพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียในการพัฒนาโมเดลโดยอิงจากค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการพัฒนาโมเดล

## 8. เอกสารอ้างอิง

- กรินทร์ กาญจนานนท์. (2561). การพยากรณ์ทางสถิติ. (พิมพ์ครั้งที่ 7). กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).
- ไกรศักดิ์ เกษร. (2564). วิทยาศาสตร์ข้อมูล. (พิมพ์ครั้งที่ 1). พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- จามรี ชูบัวทอง และสมศรี บัณฑิตวิไล. (2560). การพัฒนารูปแบบเพื่อพยากรณ์คุณภาพผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยการถดถอยโลจิสติกส์และโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้การวิเคราะห์เหมืองข้อมูล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(1), 1-13.
- ธิษณ์ปณชา คนโทนิมพลี และคณะ. (2561). การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. วารสาร 11<sup>th</sup> Thaiciid National Symposium, 11(1), 68-91.
- นิภา นิรุตติกุล. (2558). การพยากรณ์การขาย Sale Forecasting. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 7
- ผุสดี บุญรอด และกรวิวัฒน์ พลเยี่ยม. (2560). แบบจำลองการพยากรณ์ราคามันสำปะหลังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น. บทความวิจัยภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 25(3), 534-543.
- พรรณนิภา คุมสิน และสมศรี บัณฑิตวิไล. (2561). การเปรียบเทียบแบบการพยากรณ์ยอดขายเครื่องปรับอากาศโดยวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์-วินเทอร์, วิธีบ็อกซ์-เจนกินส์ และวิธีโครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 26(3), 364-376.
- ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ อภินันท์ จุณกรณ์ และ มงคล รอดจันทร์. (2563, มกราคม-มิถุนายน). ระบบพยากรณ์การรูก้าของน้ำเค็มบริเวณกลุ่มแม่น้ำท่าจีนด้วยโครงข่ายประสาทเทียมหลายชั้น. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 16(1), 60-68.
- ราตรี คำโมง และ สุพจน์ หอมดอก. (2562). การพยากรณ์จำนวนนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติที่มาท่องเที่ยวภาคเหนือของประเทศไทยด้วยโครงข่ายประสาทเทียม. วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์, 2562(2), 15-31.
- ยุพิน ไชยสมภาร และทวี ชัยพิมลสิน. (2560). การพยากรณ์ระดับน้ำโดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำ ฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 9(17), 83-90.

- รณชัย ชื่นธวัช กิตติศักดิ์ เกิดประสพ และนิตยา เกิดประสพ. (2560). การพยากรณ์ความต้องการใช้งานหน่วยจำหน่ายไฟฟ้าด้วยซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันแบบตรวจสอบสลับ 3 ส่วน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 19(1), 215-232.
- รสริน โคตรเสนา และอัจฉราพรรณ ประทุมมณี. (2563). การพยากรณ์ความต้องการสินค้าโดยวิธีโครงข่ายประสาทเทียมของโรงงานผลิตขนมแห่งหนึ่ง (ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ
- ไวยวิทย์ พานิชอักษร และ มหศักดิ์ เกตุฉ่ำ. (2560). การพยากรณ์ยอดขายปลีกแก๊สรถยนต์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์อนุกรมเวลาและโครงข่ายประสาทเทียม. วารสาร JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 7(1), 42-49.

## การจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาบริษัทรับเหมาติดตั้งระบบดับเพลิงภายในอาคาร INVENTORY MANAGEMENT CASE STUDY OF FIRE PROTECTION SYSTEMS COMPANY

ศิริลักษณ์ แก้วนวล<sup>1</sup> ศักดิ์ชาย รักษการ<sup>2</sup> และ สำเร็จ เนตรภู<sup>3</sup>

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

วิทยาเขตพัฒนาการ 1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

Siriluk kaewnual<sup>1</sup> Sakchai Rakkharn<sup>2</sup> and Samroeng Netpu<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Graduate School, Master of Engineering Program in Engineering Management Kasem Bundit University,  
Pattanakran Campus, 1761 Pattanakarn Rd., Suanluang Bangkok 10250, Thailand

<sup>1</sup>Email: Siriluk.pen25@gmail.com

วันที่รับบทความ 12 ธันวาคม 2565

วันแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

### บทคัดย่อ

การวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาการจัดการสินค้าคงคลัง กรณีศึกษาบริษัทรับเหมาติดตั้งระบบดับเพลิงภายในอาคาร จากการตรวจนับสต็อกเมื่อปลายเดือนมิถุนายน 2564 ที่ผ่านมา พบว่า บริษัทฯ มีสินค้าคงคลัง จำนวน 240 รายการ ซึ่งมีมูลค่าทั้งสิ้น 680,626 บาท ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบปัญหามูลค่าสินค้าคงคลังสูงเกินความต้องการประมาณ 71% และจากปัญหาทางกายภาพ พบว่า สภาพสินค้าในคลังไม่ถูกแบ่งเป็นหมวดหมู่ ทำให้การวางสินค้าไม่เป็นตำแหน่งการวางที่แน่นอน ไม่เอื้ออำนวยต่อการมองเห็น ทำให้หาสินค้ายาก และเกิดการซื้อซ้ำอยู่บ่อยครั้ง จึงได้นำทฤษฎี ABC Analysis มาใช้ในการแบ่งหมวดหมู่ของสินค้าคงคลังด้วยเงื่อนไขมูลค่าสินค้า สามารถกำหนดสินค้าประเภท A มีจำนวนสินค้าทั้งหมด 24 รายการ สินค้าประเภท B มีจำนวนสินค้า 79 รายการ และสินค้าประเภท C มีจำนวนสินค้า 137 รายการ และนำสินค้าประเภท A ที่มีมูลค่าสินค้าสูงที่สุด มาวิเคราะห์แก้ปัญหาด้วยการพยากรณ์ความต้องการของสินค้าต่อเดือน การกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังต่ำสุด สูงสุด ระยะเวลาในการจัดซื้อ และปริมาณการจัดซื้อที่เหมาะสม รวมถึงการวิเคราะห์รายการสินค้าที่ไม่หมุนเวียน โดยการสร้างเป็นสูตรการคำนวณด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ผลการศึกษา ในสินค้ากลุ่ม A พบสินค้าที่ไม่หมุนเวียนจำนวน 8 รายการ ซึ่งดำเนินการให้ฝ่ายขายเสนอรายการสินค้าเหล่านี้กับลูกค้าเพื่อระบายสินค้าออก และสินค้าที่ต้องจัดซื้อให้เหมาะสมกับปริมาณความต้องการ 22 รายการ นอกจากนั้นได้ใช้หลักการการออกแบบการจัดคลังสินค้าใหม่ ทำให้สินค้ามีความเป็นระเบียบเรียบร้อย เกิดการจัดเก็บสินค้าให้เป็นหมวดหมู่ มีการแบ่งพื้นที่ของการจัดเก็บอย่างชัดเจน และกำหนดช่องทางการเดินของพนักงานเพื่อให้ง่ายและรวดเร็วในการตรวจสอบสต็อกที่มีอยู่ในคลังสินค้า รวมทั้งสะดวกต่อการหยิบสินค้า (Picking) หลังจากดำเนินการสามารถลดต้นทุนสินค้าคงคลังได้ 184,227 บาท เฉลี่ยลดลง 27%

**คำสำคัญ:** การจัดการสินค้าคงคลัง, ระบบดับเพลิง, ABC Analysis, ลดต้นทุน

## ABSTRACT

This research is proposed to inventory management in case study of a company that installs fire suppression systems in buildings. From the stock count at the end of June 2021, it has been found that the company had 240 items of inventory, with a total value of approximately 680,626 Baht. The problem of inventory value is higher than demand by about 71% and also physical problems it is found that the condition of the inventory is not categorized, making the placement of the products is not the exact placement, which is not conducive to vision and then make it is difficult to find products and repeated purchases occur frequently. Therefore, the ABC Analysis theory is applied to categorize inventory by product value condition. Thus, they can be able to define product category A with total 24 products, category B product with 79 items, and category C with 137 products. And applying product group A is with the highest product value. Let's analyze and solve problems by forecasting the demand of products per month, determination of minimum, maximum, and procurement cycle times and suitable purchasing quantity including the analysis of non-circulating items. By creating a formula is for calculating with Microsoft Excel. The results of a study in product group A is found a number of non-circulating products of 8 items, which applies the strategy to allows the sales department to offer these items to customers in order to drain the products. And products that must be purchased to suit the quantity of demand of 22 items. In addition, new warehouse design principles have been applied for making the product tidy. Then products are stored in categories, the storage area is clearly divided, and assign staff aisle to make it easy and quick to check the stock available in the warehouse including convenient picking (Picking). Therefore, after the operation of inventory costs can be reduced by 184,227 Baht or an average reduction of 27%.

**Keywords:** Inventory Management, Fire Suppression Systems, ABC Analysis, Cost Reduction

## 1. บทนำ

ธุรกิจรับเหมาติดตั้งระบบดับเพลิง ในปัจจุบันจึงมีการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้น และเป็นหนึ่งในธุรกิจที่ได้รับผลกระทบในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา-2019 จากการประกาศคำสั่งปิดแคมป์ หยุดก่อสร้างในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล พร้อมกับความเสี่ยงจากความไม่แน่นอนในสถานการณ์การระบาดของไวรัสโคโรนา-2019 ที่ทำให้ธุรกิจทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ขนาดย่อม ต่างต้องพยายามค้นหาหนทางปรับแผน และวางกลยุทธ์ หรือสร้างมาตรการในการบริหาร และพัฒนาปรับปรุงการดำเนินงานธุรกิจของตนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รับมือกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และที่สำคัญมุ่งเน้นต้นทุนในการประกอบการที่ต่ำสุด เพื่อให้สามารถแข่งขันกับบริษัทคู่แข่งรายอื่น ๆ ได้ ซึ่งต้นทุนด้านสินค้าคงคลังในการวางแผน และควบคุมสินค้าคงคลัง สามารถทำได้โดยประสบการณ์ และใช้วิธีทางสถิติ การจัดการสินค้าคงคลัง เริ่มจากการสั่งซื้อ การรับสินค้า การจัดเก็บสินค้าในคลัง จนกระทั่งมีการเบิกสินค้าเพื่อไปติดตั้ง วัตถุประสงค์ในการจัดการสินค้าคงคลังเพื่อให้มีสินค้าคงคลังต่าง ๆ อยู่ในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอต่อความต้องการ เจ้าหน้าที่คลังสินค้าจะต้องรู้ประเภท และลักษณะของสินค้าเป็นอย่างดี เนื่องจากสินค้าที่อยู่ในคลังสินค้านั้นมีหลายรายการ แต่ละรายการมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป สินค้าบางรายการ มีอัตราการใช้สูงแต่มูลค่าต่ำ บางรายการมีอัตราการใช้ต่ำแต่มูลค่าสินค้าสูง จึงเป็นต้นทุนที่สำคัญ ทั้งนี้การขาดการจัดการคลังสินค้าอาจจะส่งผลอย่างยิ่งต่อการดำเนินธุรกิจ เช่น สินค้าที่มีอยู่ปริมาณมากเกินความต้องการ ทำให้มูลค่าสินค้าคงคลังสูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อผลกำไรของธุรกิจโดยตรง เพราะมีต้นทุนในการจัดทำใบสั่งซื้อ

ตรวจสอบพัสดุ คำนวณพัสดุเข้าเก็บในคลัง ซึ่งจะผันแปรตามจำนวนที่สั่งซื้อสินค้า ต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้า ค่าคลังเก็บสินค้า ค่าประกันภัย และสินค้าคงคลังที่ไม่ถูกนำไปใช้งาน ยังเกิดค่าความเสื่อมสภาพ หมดอายุ ถูกขโมย สูญหาย นอกจากนี้ยังทำให้สูญเสียโอกาสในการนำเงินที่จมอยู่กับสินค้าคงคลังนี้ไปหาประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าธุรกิจมีสินค้าคงคลังน้อยเกินไปก็อาจประสบปัญหาสินค้าขาดแคลนไม่เพียงพอ สูญเสียเวลา เสียค่าแรงงานแทนการได้ปริมาณและส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของธุรกิจในอนาคตได้ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้ประกอบการในการจัดการสินค้าคงคลังของตนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่มาก หรือน้อยจนเกินไป เพื่อให้ธุรกิจมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด (วสุธิดา นักเกษม และ ประสพชัย พสุนนท์, 2561)

กรณีศึกษาบริษัทติดตั้งระบบดับเพลิง ดำเนินธุรกิจรับเหมาติดตั้งระบบสปริงเกอร์ดับเพลิงภายในอาคาร โดยในปี พ.ศ. 2564 เดือนมิถุนายน ที่ผ่านมา พบว่า บริษัทฯ มีสินค้าคงคลังจำนวน 240 รายการ ซึ่งมีมูลค่าทั้งสิ้น 680,626 บาท ปัจจุบันขาดการจัดการสินค้าคงคลัง สั่งซื้อสินค้าเข้ามาเกินความต้องการใช้งาน ทำให้สินค้าคงคลังบางรายการมีมากเกินไปจนจำเป็นต้องทำให้มูลค่าสินค้าคงคลังสูงขึ้นเรื่อย ๆ ผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาเรื่อง การจัดการสินค้าคงคลัง โดยประยุกต์ใช้หลักทฤษฎี ABC Analysis การคำนวณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) ในกลุ่มสินค้า เพื่อมาใช้ในการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม และการวิเคราะห์สินค้าคงคลังที่มีอยู่โดยใช้ Microsoft Excel เป็น Model ในการวิเคราะห์พร้อมแก้ไขปัญหา

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการจัดการสินค้าคงคลัง ประเภทสินค้าในงานรับเหมาติดตั้งระบบดับเพลิง
2. เพื่อลดมูลค่าสินค้าคงคลัง ที่เป็นกรณีศึกษาโดยเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 10%

## 3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นันทวรรณ สมศรี, ศุภฤกษ์ เหล็กดี (2563) ได้ศึกษาการลดต้นทุนสินค้าคงคลังด้วยวิธี ABC – FSN Analysis กรณีศึกษาโรงงานผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ได้เลือกกลุ่มวัตถุดิบที่ AS, AN และ BN เท่านั้น จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน พบว่า มีสินค้าคงคลัง จำนวน 48 รายการ ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน 0.25 สะท้อนให้เห็นว่ารูปแบบปริมาณความต้องการลักษณะไม่คงที่ จึงเหมาะสมกับวิธี Silver – Meal การเปรียบเทียบต้นทุนสินค้าของรูปแบบปัจจุบันและรูปแบบขนาดการสั่งซื้อประหยัด (EOQ) พบว่า รูปแบบปัจจุบันมีมูลค่าต้นทุนรวมสินค้าคงคลังเท่ากับ 24,048,101,166.83 บาท ส่วนต้นทุนรวมสินค้าคงคลังรูปแบบขนาดการสั่งซื้อประหยัด (EOQ) มีมูลค่าค่าเท่ากับ 23,810,932,220.80 บาท ซึ่งมีมูลค่าน้อยกว่ารูปแบบปัจจุบันมากถึง 237,168,946.03 บาท และการเปรียบเทียบต้นทุนสินค้าของรูปแบบปัจจุบัน และการหาจุดสั่งซื้อแบบ Silver – Meal Heuristic พบว่า รูปแบบปัจจุบันมีมูลค่าต้นทุนรวมสินค้าคงคลังเท่ากับ 36,970,046,376.41 บาท ส่วนต้นทุนรวมสินค้าคงคลังด้วยวิธีการหาจุดสั่งซื้อแบบ Silver – Meal Heuristic มีมูลค่าค่าเท่ากับ 18,244,384,350.73 บาท ซึ่งมีมูลค่าน้อยกว่ารูปแบบปัจจุบันมากถึง 18,725,662,025.68 บาท

โชติกา ทองสุโขติ (2552) ได้ศึกษาการจัดการควบคุมสินค้าคงคลัง โดยใช้ทฤษฎี ABC Analysis ของธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง เพื่อลดต้นทุนการควบคุมสินค้าคงคลัง ลดปริมาณสินค้าคงคลังลง และลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายสำหรับประเภทสินค้าที่มีปริมาณการใช้งานมาก โดยมีขั้นตอนการศึกษา คือ ทำการแบ่งประเภทของสินค้าคงคลัง จำนวน 80 รายการ และใช้ปริมาณสินค้าที่เบิกใช้เป็นเกณฑ์ ใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบ ABC เพื่อหาสินค้าคงคลังประเภท A ซึ่งมีมูลค่าการใช้งานคิดเป็น 70 – 75% ของมูลค่าการใช้งานทั้งหมด แล้วนำสินค้าคงคลังกลุ่ม A มาวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) โดยเปรียบเทียบกับปริมาณการสั่งซื้อแต่ละครั้ง จุดสั่งซื้อ และต้นทุนสินค้าคงคลังรวมปัจจุบันของบริษัท จัดลำดับความเคลื่อนไหว

ของประเภทสินค้า และหาประเภทสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวมากที่สุด วิเคราะห์ระยะทางตำแหน่งการจัดเก็บปัจจุบัน และเปรียบเทียบกับตำแหน่งการจัดเก็บ โดยใช้รูปแบบการจัดเก็บสินค้าแบบวิธี ABC เพื่อหาตำแหน่งการจัดเก็บเพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนย้าย ผลจากการศึกษา พบว่า การใช้ทฤษฎี ABC Analysis สามารถแบ่งวัตถุดิบประเภท A ได้ 13 ชนิด ซึ่งมีมูลค่า คิดเป็น 75.07% เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนสินค้ารวมของการบริหารแบบปัจจุบันกับต้นทุนรวมของการสั่งซื้อในปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด พบว่า การบริหารการสั่งซื้อในปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดทำให้ปริมาณสินค้าคงคลังลดลง 2,340 หน่วย จำนวนครั้งในการสั่งซื้อลดลง 76 ครั้ง และต้นทุนรวมสินค้าคงคลังลดลง 1,140,889.16 บาท หรือลดลง 30.27% และการเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าแบบ ABC Analysis พบว่า ตำแหน่งใหม่สามารถลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้าจาก Rack มายัง Store ลงไปได้ เป็นระยะทาง 3.20 เมตร

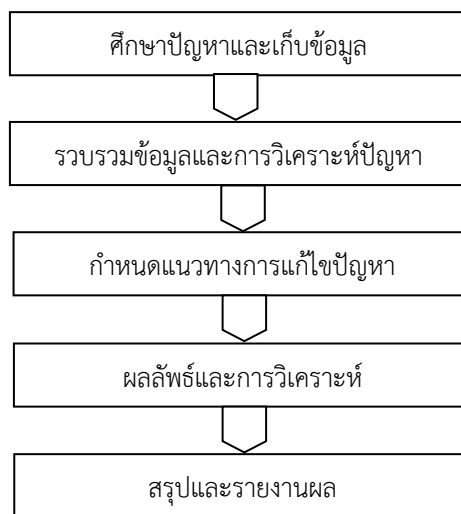
นภัสสร สกุลประดิษฐ์ (2560) ได้ศึกษา และปรับปรุงการบริหารจัดการสินค้าคงคลังโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการจัดการคลังสินค้า ทฤษฎีการวิเคราะห์เอบีซี (ABC Analysis) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสินค้าอาหารแช่แข็ง จากการสำรวจ และรวบรวมข้อมูลในโรงงานผลิต และกระจายอาหารแช่แข็งแห่งหนึ่ง พบว่า ในปัจจุบันมีจำนวนรายการสินค้าที่หมุนเวียนเข้าออกคลังสินค้าเป็นจำนวนมาก แต่มีวิธีจัดเก็บ และการจัดวางที่ไม่เหมาะสม ผู้ศึกษาจึงนำเสนอแนวทางในการจัดการพื้นที่จัดเก็บสินค้า มาวิเคราะห์เลือกพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าในแต่ละห้อง เพื่อเปรียบเทียบกับการจัดวางแบบเดิมในปัจจุบัน โดยใช้ระยะทางที่พนักงานใช้ในการเบิกจ่ายสินค้าเป็นตัวกลางในการเปรียบเทียบกับแบ่งกลุ่มสินค้าตามปริมาณมูลค่าการสั่งซื้อสินค้า โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 ซึ่งกลุ่มของสินค้าจะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ตามลำดับ มูลค่าการสั่งซื้อสินค้าออกจากคลังสูง ปานกลาง และต่ำ แล้วจึงทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายสินค้า ระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีที่บริษัทใช้ในปัจจุบันเพื่อใช้ในการให้คำแนะนำการจัดวางพื้นที่คลังสินค้าใหม่ ผลจากการเปรียบเทียบผลรวมของระยะทางที่ใช้ในการเบิก-จ่ายสินค้ากับการจัดวางสินค้าแบบเดิม พบว่า ช่วยลดระยะทางในการเบิก-จ่ายสินค้าโดยรวมลงได้ เช่น คลังสินค้าห้อง A เมื่อจัดผังคลังแบบใหม่ทั้งแบบที่ 2 และแบบที่ 3 พบว่า ระยะทางการเบิก-จ่ายสินค้าลดลงจากเดิม 4,770 cm. และ 4,560 cm. ตามลำดับ อีกทั้งยังช่วยลดปัญหาของการจัดเก็บสินค้าที่กระจัดกระจาย ทำให้สินค้าหาได้ง่ายขึ้น แต่ในมุมมองของการนำไปใช้งาน การจัดในแบบที่ 3 สามารถนำไปใช้งานจริงได้ดีกว่าแบบที่ 2 เพราะใช้ความเหมาะสมของการทำงานเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ และจากการสอบถามพนักงาน และผู้บริหารก็ลงความเห็นให้แบบที่ 3 มากกว่านั่นเอง

พิมสิริ เช่งจัน (2557) ได้ศึกษาระบบสินค้าคงคลังเพื่อหา นโยบายสินค้าคงคลังที่เหมาะสมของร้านค้าสหกรณ์ชุมชนบ้านหนองคำ ตำบลโนนท่อน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ว่าควรจะสั่งสินค้าเมื่อใด และสั่งสินค้าปริมาณเท่าใด ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานทั้งหมดโดยเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุด โดยดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงวันที่ 21-22 พฤศจิกายน 2557 มีสินค้าที่นำมาศึกษา จำนวน 10 รายการ ผลจากการศึกษาระบบปัจจุบันพบว่า ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโดยเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1,419.41 บาท/วัน และผลจากการวิเคราะห์ระบบสินค้าคงคลังประเภทหลายรายการมาจากคลังเดียว ซึ่งมี 3 นโยบาย คือ นโยบายการจัดหาสินค้าแบบจัดหาทีละรายการ นโยบายการจัดหาสินค้าแบบจัดหาสินค้าพร้อมกัน นโยบายการจัดหาสินค้าแบบจัดหาสินค้าแบบผสม นโยบายที่เหมาะสมที่สุด คือ นโยบายสินค้าคงคลังแบบจัดหาสินค้าแบบผสม โดยมีปริมาณการสั่งซื้อในแต่ละครั้ง และระยะเวลาระหว่างการสั่งซื้อสินค้าสองครั้งติดต่อกันของสินค้า 10 รายการ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 นมถั่วเหลืองแลคตาซอย สั่งสินค้า จำนวน 11.97 แพ็ค อิชิตันแบบกล่อง สั่งสินค้า จำนวน 17.99 แพ็ค นมเปรี้ยวดัชมิลล์ สั่งสินค้า จำนวน 17.01 แพ็ค และเครื่องดื่ม M150 สั่งสินค้า จำนวน 20.02 แพ็ค รอบสั่งสินค้าทุก 7 วัน กลุ่มที่ 2 น้ำอัดลมขนาด 1.25 ลิตร สั่งสินค้า จำนวน 7.98 แพ็ค เครื่องดื่มสปอนเซอร์ สั่งสินค้า จำนวน 7.98 ลิ้ง และบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปยี่ห้อยำยำจัมโบ้ รอบสั่งสินค้า จำนวน 7.98 ลิ้ง สั่งสินค้าทุก 14 วัน และกลุ่มที่ 3 กาแฟกระป๋องเบอร์ดี สั่งสินค้า จำนวน 6.09 ถาด รอบสั่งสินค้าทุก 21 วัน ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานโดยเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 1,144.53 บาท/วัน ช่วยลดค่าใช้จ่ายลง จากการสั่งซื้อสินค้าปัจจุบันได้ถึง 274.88/วัน

ปิยะนันท์ คำภิโร (2555) นำเสนอกรณีศึกษา การแยกประเภทวัสดุคงคลังตามลำดับความสำคัญของปัจจัยหลายประเภท หรือ ABC Classification โดยหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยด้วยหลักการ Analytic Hierarchy Process: AHP ปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจแยกประเภทวัสดุคงคลัง ประกอบด้วย ราคาของวัตถุดิบ มูลค่าการใช้ต่อปี และระยะเวลานำการสั่งซื้อ ซึ่งให้น้ำหนักความสำคัญตามลำดับดังนี้ 0.622, 0.279 และ 0.099 ที่ระดับอัตราส่วนความไม่สอดคล้อง 0.008 โดยผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการแยกประเภทวัสดุคงคลัง ABC โดยใช้หลักการ AHP เทียบกับการแยกประเภทวัสดุคงคลังแบบ ABC ดั้งเดิม พบว่า การแยกประเภทวัสดุคงคลัง ABC ด้วยหลักการ AHP สามารถจัดกลุ่มวัสดุคงคลังได้มีความสอดคล้อง และคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญสำหรับโรงงานกรณีศึกษาได้มากกว่าการวิเคราะห์ ABC โดยใช้มูลค่าการใช้ต่อปี และจำนวนวัสดุคงคลังที่เป็นการพิจารณา ABC ดั้งเดิม ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารงานวัสดุคงคลังได้มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังพิจารณากำหนดนโยบายการสั่งซื้อวัสดุกลุ่ม A ประกอบด้วย วัสดุ จำนวน 21 รายการ โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมที่ได้จาก 3 วิธี คือ การกำหนดปริมาณการสั่งซื้ออย่างประหยัด (EOQ) การกำหนดปริมาณการสั่งซื้อตามช่วงเวลาการสั่ง (POQ) และการสั่งพอดีกับความต้องการ (L4L) สำหรับวัสดุแต่ละรายการได้ผลว่าเมื่อทำการพิจารณาเลือกนโยบายสั่งซื้อที่เหมาะสมจะทำให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดของวัสดุคงคลังแต่ละชนิด เมื่อนำค่าใช้จ่ายมาคิดรวมกัน พบว่า ค่าใช้จ่ายในการจัดการวัสดุกลุ่ม A ลดลง 72.76 หรือ 1,066,763.73 บาท

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

##### 4.1 กระบวนการดำเนินงาน



รูปที่ 1 กระบวนการดำเนินงานวิจัย

##### 4.2 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยทฤษฎี ABC Analysis

นำข้อมูลสินค้าของบริษัทในกรณีศึกษามาจัดกลุ่มประเภทสินค้าคงคลัง ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

1. เก็บรวบรวมรายการสินค้าคงคลังทั้งหมด จำนวน 240 รายการ และคำนวณหามูลค่าสินค้าคงคลังแต่ละรายการ โดยนำจำนวนสินค้าคงคลังคูณด้วยราคาต่อหน่วยของสินค้าคงคลัง
2. เรียงลำดับข้อมูลจากมูลค่ามากที่สุดไปหามูลค่าน้อยที่สุด
3. คำนวณมูลค่าสะสมเป็นร้อยละ จากรายการแรกไปจนถึงรายการสุดท้าย
4. แบ่งกลุ่มสินค้าคงคลังด้วยทฤษฎี ABC ตามหลักการ ดังนี้

ตารางที่ 1 มูลค่ารวมของการจำแนกแต่ละกลุ่ม

| กลุ่ม | จำนวนรายการ | ร้อยละของรายการสินค้า | มูลค่าสินค้า | ร้อยละมูลค่าสินค้าคงคลัง |
|-------|-------------|-----------------------|--------------|--------------------------|
| A     | 24          | 10.00                 | 482,938.30   | 70.96                    |
| B     | 79          | 32.92                 | 135,575.34   | 19.92                    |
| C     | 137         | 57.08                 | 62,112.36    | 9.13                     |
| รวม   | 240         | 100.00                | 680,626.00   | 100.00                   |

จากตารางที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสินค้ากลุ่ม A มีสินค้า จำนวน 24 รายการ สินค้ากลุ่ม B มีจำนวน 79 รายการ และกลุ่ม C มีจำนวน 137 รายการ แต่มูลค่ากลุ่ม A กลับมีมูลค่าสูงถึง 482,938.30 บาท คิดเป็นร้อยละ 70.96 ของมูลค่าสินค้าทั้งหมด

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์กำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในกลุ่มสินค้าประเภท A

| ลำดับ | รายละเอียด                      | ต้นทุน<br>Max Stock | ต้นทุน<br>Real Stock | ผลต่าง(บาท) |
|-------|---------------------------------|---------------------|----------------------|-------------|
| 1     | ท่อเหล็กดำ #40 2-1/2"           | 18,000              | 71,916               | -53,916     |
| 2     | ท่อเหล็กดำ #40 4"               | 9,000               | 61,439               | -52,439     |
| 3     | ท่อเหล็กดำ #40 2"               | 16,125              | 51,600               | -35,475     |
| 4     | ใบตัด 14"                       | 168,750             | 48,750               | 120,000     |
| 5     | ท่อเหล็กดำ #40 1"               | 42,000              | 43,400               | -1,400      |
| 6     | ท่อเหล็กดำ #40 3"               | 4,500               | 32,290               | -27,790     |
| 7     | หน้าแปลนบอดเหล็ก 150P 8"        | 180                 | 21,756               | -21,576     |
| 8     | สีสเปรย์ V2117 Rust oleum       | 1,800               | 17,400               | -15,600     |
| 9     | สีรองพื้นกันสนิม สีแดง G1024    | 788                 | 16,380               | -15,593     |
| 10    | ลวดเชื่อม Kobe LB 52 3.2 มม.    | 7,200               | 12,900               | -5,700      |
| 11    | สีน้ำมัน G600 TOA IGL           | 255                 | 12,750               | -12,495     |
| 12    | สามทางเชื่อม #40 6"*4"          | 900                 | 10,705               | -9,805      |
| 13    | ลวดเชื่อม KOBE-30 2.6 mm.       | 25,200              | 9,520                | 15,680      |
| 14    | สามทางเชื่อมเหล็ก SCH 40 8"     | 45                  | 9,500                | -9,455      |
| 15    | สีเคลือบเงา TOA G1000           | 180                 | 9,360                | -9,180      |
| 16    | เลเซอร์ PUMPKIN #28260          | 5                   | 8,340                | -8,336      |
| 17    | วาล์วดับเพลิง 400 PSI           | 1,200               | 6,750                | -5,550      |
| 18    | ฟันตัดปเกลียว REX 2-1/2"-4"     | 2                   | 6,570                | -6,569      |
| 19    | ประตุน้ำสแตนเลสเกลียวใน 1/2"-2" | 540                 | 6,440                | -5,900      |
| 20    | ฝาครอบ 4"                       | 1,575               | 6,125                | -4,550      |
| 21    | หน้าแปลนเชื่อมเหล็ก 150 P 8"    | 18                  | 5,448                | -5,430      |
| 22    | สามทางเชื่อมเหล็ก LK 6*1"       | 180                 | 5,400                | -5,220      |
| 23    | สามทางลดเชื่อมเหล็ก #40 4"*2"   | 150                 | 4,200                | -4,050      |
| 24    | ล้อยาง PUแดง 8" ใส่แป้นมีเบรค   | 120                 | 4,000                | -3,880      |
|       |                                 | 298,712             | 482,938              | -184,227    |

จากตารางที่ 2 เห็นได้ว่ามูลค่าสินค้าในกลุ่ม A ต้นทุน Real Stock มีมูลค่าสินค้าจำนวน 482,938 บาท หลังจากใช้ Microsoft Excel การกำหนดปริมาณสินค้าคงคลังต่ำสุด สูงสุดในการจัดการสินค้าคงคลัง เพื่อลดปริมาณการสั่งซื้อเข้ามาเกินความต้องการ ควบคุมการสั่งซื้อและการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม พบว่า สามารถทำให้มูลค่าของสินค้ากลุ่ม A ลดลงไปถึง 184,227 บาท คิดเป็นร้อยละ 27 จากมูลค่าของสินค้าคงคลังทั้งหมด

ตารางที่ 3 รูปแบบ Microsoft Excel และการวิเคราะห์ผลลัพธ์

| ลำดับ | รายละเอียด                       | ต้นทุน<br>Max<br>Stock | ต้นทุน<br>Real<br>Stock | ผลต่าง/<br>บาท | อยู่ได้<br>กี่รอบ | อยู่ได้<br>กี่วัน | ซื้อเข้า    |
|-------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------|
| 1     | ท่อเหล็กดำ #40 2-1/2"            | 18,000                 | 71,916                  | -53,916        | 6                 | 132               | ไม่สั่งซื้อ |
| 2     | ท่อเหล็กดำ #40 4"                | 9,000                  | 61,439                  | -52,439        | 10                | 225               | ไม่สั่งซื้อ |
| 3     | ท่อเหล็กดำ #40 2"                | 16,125                 | 51,600                  | -35,475        | 5                 | 106               | ไม่สั่งซื้อ |
| 4     | ท่อเหล็กดำ #40 3"                | 4,500                  | 32,290                  | -27,790        | 11                | 237               | ไม่สั่งซื้อ |
| 5     | หน้าแปลนบอดเหล็ก 150P8"          | 180                    | 21,756                  | -21,576        | 1                 | 26                | ไม่สั่งซื้อ |
| 6     | สีสเปรย์ V2117 Rustoleum         | 1,800                  | 17,400                  | -15,600        | 15                | 319               | ไม่สั่งซื้อ |
| 7     | สีรองพื้นกันสนิม สีแดง G1024     | 788                    | 16,380                  | -15,593        | 31                | 686               | ไม่สั่งซื้อ |
| 8     | สีน้ำมัน G600 TOA IGL            | 255                    | 12,750                  | -12,495        | 2                 | 37                | ไม่สั่งซื้อ |
| 9     | สามทางเชื่อม #40 6"*4"           | 900                    | 10,705                  | -9,805         | 18                | 393               | ไม่สั่งซื้อ |
| 10    | สามทางเชื่อมเหล็ก SCH 40 8"      | 45                     | 9,500                   | -9,455         | 1                 | 18                | ไม่สั่งซื้อ |
| 11    | สีเคลือบเงา TOA G1000            | 180                    | 9,360                   | -9,180         | 1                 | 26                | ไม่สั่งซื้อ |
| 12    | เลเซอร์ PUMPKIN #28260           | 5                      | 8,340                   | -8,336         | 3                 | 66                | ไม่สั่งซื้อ |
| 13    | พื้นตีาเกลียว REX 2-1/2"-4"      | 2                      | 6,570                   | -6,569         | 1                 | 22                | ไม่สั่งซื้อ |
| 14    | ประตุน้ำสแตนเลส เกลียวใน 1/2"-2" | 540                    | 6,440                   | -5,900         | 18                | 394               | ไม่สั่งซื้อ |
| 15    | ลวดเชื่อม Kobe LB 52 3.2 มม.     | 7,200                  | 12,900                  | -5,700         | 3                 | 59                | ไม่สั่งซื้อ |
| 16    | วาล์วดับเพลิง 400 PSI            | 1,200                  | 6,750                   | -5,550         | 8                 | 186               | ไม่สั่งซื้อ |
| 17    | หน้าแปลนเชื่อมเหล็ก 150P8"       | 18                     | 5,448                   | -5,430         | 1                 | 29                | ไม่สั่งซื้อ |
| 18    | สามทางเชื่อมเหล็ก LK 6*1"        | 180                    | 5,400                   | -5,220         | 45                | 990               | ไม่สั่งซื้อ |
| 19    | ฝาครอบ 4"                        | 1,575                  | 6,125                   | -4,550         | 6                 | 128               | ไม่สั่งซื้อ |
| 20    | สามทางลดเชื่อมเหล็ก #40 4"*2"    | 150                    | 4,200                   | -4,050         | 42                | 924               | ไม่สั่งซื้อ |
| 21    | ล้อยูเอวี PUแดง 8" ใส่แป้นมีเบรค | 120                    | 4,000                   | -3,880         | 50                | 1,100             | ไม่สั่งซื้อ |
| 22    | ท่อเหล็กดำ #40 1"                | 42,000                 | 43,400                  | -1,400         | 2                 | 34                | ไม่สั่งซื้อ |
| 23    | ลวดเชื่อม KOBE-30 2.6 mm.        | 25,200                 | 9,520                   | 15,680         | 1                 | 12                | สั่งซื้อ    |
| 24    | ใบตัด 14"                        | 168,750                | 48,750                  | 120,000        | 0                 | 10                | สั่งซื้อ    |

ซึ่งสรุปได้ว่ายังสินค้าคงคลังอยู่เป็นจำนวนมากที่ยังไม่ได้นำไปติดตั้งในโครงการ จึงไม่จำเป็นต้องสั่งซื้อเข้ามา แต่ต้องใช้วิธีการกระตุ้นการใช้งานสินค้าที่มีให้หมด ถ้าสามารถระบายใช้วัตถุดิบที่มีในจำนวน 24 รายการได้ จะทำให้บริษัทในการณิ

ศึกษาลดต้นทุนในการจัดเก็บ และถือครองสินค้าเป็นมูลค่า 184,227 บาท คิดเป็นร้อยละ 27% จากมูลค่าของสินค้าคงคลังทั้งหมด

## 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

5.1 ออกแบบการจัดการสินค้าคงคลัง และกระบวนการสั่งซื้อสินค้า เพื่อลดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเข้ามาเกินความต้องการ ควบคุมการสั่งซื้อและการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม

5.2 ออกแบบการจัดคลังสินค้าใหม่ ทำให้เกิดการจัดเก็บสินค้าให้เป็นหมวดหมู่ เพื่อให้ง่ายและรวดเร็วในการตรวจสอบสต็อกสินค้าที่มีอยู่ในคลังสินค้า รวมทั้งสะดวกต่อการ Picking เพื่อนำไปใช้งาน

ตารางที่ 3 เหตุผลในการพิจารณาการออกแบบขนาดพื้นที่

| ตัวเลือกที่ใช้พิจารณาในการออกแบบ | รายละเอียดของเหตุผล                                                                                                                                    |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ประเภทของสินค้า                  | พิจารณาประเภทสินค้าตามการจัดหมวดหมู่ของ ABC โดยสินค้าแต่ละประเภทมีลักษณะขนาดแตกต่างกัน ทำให้การเลือกอุปกรณ์การจัดเก็บจึงแตกต่างกัน                     |
| ขนาดช่องทางเดิน                  | พิจารณาขนาดช่องทางเดิน ให้พนักงานสามารถเข้าถึงบริเวณชั้นวางสินค้าเพื่อทำการเช็ดสินค้า จัดเก็บ และเบิกจ่ายได้                                           |
| พื้นที่จัดเก็บ                   | พิจารณาขนาดพื้นที่จัดเก็บที่มี โดยเฉพาะพื้นที่ที่สามารถจัดเก็บบนชั้นวาง แขนงข้างฝาผนัง และพื้นที่ว่างบนพื้น                                            |
| ความสามารถในการจัดเก็บ           | พิจารณาจำนวนสินค้าในแต่ละประเภทที่สามารถจัดเก็บบนชั้นวาง บนพื้น หรือแขนงข้างฝาผนัง เพื่อหาความสามารถในการจัดเก็บว่าสามารถจัดวางอะไหล่ได้เพียงพอหรือไม่ |

### 5.2.1 การออกแบบคลังสินค้า

#### 1. ประเภทของสินค้า

การจำแนกประเภทสินค้าในงานระบบดับเพลิง เพื่อให้ทราบขนาดชิ้นส่วนของสินค้าว่าสินค้าชนิดนั้น ๆ ต้องจัดเก็บในสถานที่จุดไหน กรณีเป็นสินค้าที่มีขนาดเล็กก็จะสามารถแพ็คใส่ถุงและจัดเก็บในกล่องได้ หากเป็นอะไหล่ที่มีขนาดใหญ่เกิดกว่าที่จะเก็บในกล่องและมีน้ำหนักก็ต้องหาพื้นที่จัดวางบนพื้นบริเวณที่ว่าง กรณีสินค้ามีน้ำหนักเบา ขนาดเล็กก็สามารถเรียงร้อยเชือกเพื่อแขวนบริเวณฝาผนังได้ เพื่อช่วยต่อการเบิกจ่าย อีกทั้งช่วยประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ ส่วนสินค้าบางประเภทต้องคำนึงถึงความเสี่ยงในการจัดเก็บที่จะก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวสินค้า ในการวางแผนการเก็บรักษานั้นจะต้องจัดสรรพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นส่วนตัวต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเก็บรักษาสินค้า เพราะเนื้อที่เก็บรักษาเป็นทรัพยากรมูลฐานของกิจการคลังสินค้า ค่าใช้จ่ายในการดำรงรักษา และควบคุมเนื้อที่เก็บรักษานั้นเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของต้นทุนในการประกอบกิจการ การปฏิบัติงานเก็บรักษาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับการใช้เนื้อที่ได้ประโยชน์มากที่สุดด้วย การก่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด

#### 5.2.2 พื้นที่จัดเก็บ

สำหรับบริเวณจัดเก็บสินค้าจะอยู่ภายในคลังสินค้าเท่านั้น โดยการจัดเก็บ แบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ บริเวณจัดเก็บสินค้าในชั้นวาง (Shelf) และบริเวณพื้นห้อง (Floor) พร้อมป้ายกำกับชื่อสินค้าที่ระบุชัดเจน เช่น ไม้ตัด 14" สีรองพื้นกันสนิม TOAแดง G1024 ลวดเชื่อม KOBE-30 2.6 mm. สีเคลือบเงา TOA G1000 เลเซอร์ เป็นต้น พร้อมทั้งระบุป้ายทิศทางการหยิบให้ชัดเจน เช่น หยิบทางด้านซ้ายไปขวา หรือหยิบจากบนลงล่าง เป็นต้น เพื่อบ่งบอกว่าสินค้าทางด้านซ้ายหรือด้านบนสุดเข้าคลังมาก่อน และควรที่จะออกไปก่อนเพื่อป้องกันสินค้าเสื่อมสภาพ หรือล้าสมัย วิธีการเก็บรักษาจะต้องจัด

วางสินค้าให้ได้ความสูงที่พอดีและให้ความแน่นมากที่สุดโดยการนำระบบชั้นวางสินค้ามาใช้ อีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นวางแต่ละชั้นซึ่งต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก จึงได้กำหนดมาตรฐานวิธีการจัดเก็บสินค้าให้มีประสิทธิภาพ มีการจัดวางให้ได้มาตรฐาน การรักษาให้เหมาะสม โดยบริเวณจัดเก็บรักษานบนชั้นวางในคลังสินค้าจะมีขนาดไม่เท่ากันแบ่งได้ทั้งหมด 8 ชั้นวาง คือ

- 1) ชั้นวางที่ 1 มีขนาดกว้าง 900 มม. ยาว 2,460 มม. สูง 1,700 มม. วางสินค้าประเภท A
- 2) ชั้นวางที่ 2 มีขนาดกว้าง 600 มม. ยาว 2,000 มม. สูง 1,450 มม. วางสินค้าประเภท A
- 3) ชั้นวางที่ 3 มีขนาดกว้าง 650 มม. ยาว 620 มม. สูง 1,500 มม. วางสินค้าประเภท A
- 4) ชั้นวางที่ 4 มีขนาดกว้าง 500 มม. ยาว 2,450 มม. สูง 1,450 มม. วางสินค้าประเภท B
- 5) ชั้นวางที่ 5 มีขนาดกว้าง 500 มม. ยาว 1,650 มม. สูง 1,200 มม. วางสินค้าประเภท B
- 6) ชั้นวางที่ 6 มีขนาดกว้าง 500 มม. ยาว 1,500 มม. สูง 1,680 มม. วางสินค้าประเภท B และประเภท C
- 7) ชั้นวางที่ 7 มีขนาดกว้าง 500 มม. ยาว 1,500 มม. สูง 1,680 มม. วางสินค้าประเภท C
- 8) ชั้นวางที่ 8 มีขนาดกว้าง 500 มม. ยาว 1,600 มม. สูง 1,750 มม. วางสินค้าประเภท C

## 6. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้ ได้รวบรวมข้อมูลสินค้าคงคลังของบริษัทในกรณีศึกษา ตั้งแต่เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2564 ใช้ทฤษฎีการแบ่งประเภทสินค้าคงคลังที่เหมาะสม โดยใช้หลักการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยทฤษฎี ABC Analysis การคำนวณการสั่งซื้อที่ประหยัด (Economic Order Quantity: EOQ) มาใช้ในการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม เพื่อให้มีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการของบริษัทในกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลสินค้ากลุ่ม A ที่มีความสำคัญมากและมีมูลค่าสินค้าและมูลค่าการจัดเก็บค่อนข้างสูง ผลเปรียบเทียบของต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของบริษัทในกรณีศึกษา สามารถสรุปได้ดังนี้

6.1 จากการพิจารณาเลือกเอาเฉพาะสินค้ากลุ่ม A จำนวน 24 รายการ มาเพื่อกำหนดนโยบายการสั่งซื้อโดยเปรียบเทียบต้นทุนของการจัดการสินค้าคงคลังแบบปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษากับต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง การสั่งซื้ออย่างประหยัดของสินค้ากลุ่ม A พบว่า แบบการสั่งซื้ออย่างประหยัดมีต้นทุนรวมของการจัดการคลังสินค้าเท่ากับ 1,717,826 บาท และการจัดการสินค้าคงคลังแบบปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษาดำเนินการรวมการจัดการสินค้าคงคลังเท่ากับ 1,963,483 บาท ดังนั้นถ้านำรูปแบบการสั่งซื้ออย่างประหยัดมาใช้ในการจัดการสินค้าคงคลังทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายรวมทั้งปีได้ถึง 245,657 บาท สัดส่วนการลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ 14% โดยค่าใช้จ่ายที่ลดลงนั้นเกิดจากค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อต่อครั้งและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บรักษา อันเนื่องมาจากปริมาณที่สั่งซื้อที่มีความเหมาะสมมากขึ้น ส่งผลให้บริษัทเพิ่มสภาพคล่องทางการเงินแก่บริษัท โดยบริษัทสามารถนำเงินส่วนนี้ไปลงทุนหรือใช้จ่ายในกิจกรรมอื่น ๆ เพื่อเพิ่มผลกำไรให้ธุรกิจได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปแบบการสั่งซื้อสินค้าแบบ EOQ เป็นรูปแบบที่น่าสนใจและควรนำไปประยุกต์ใช้ เพราะในปัจจุบันนี้ทางบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีการนำหลักการเหล่านี้มาใช้ ซึ่งถ้าบริษัทได้นำผลการทดลองไปใช้ก็จะสามารถช่วยลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อสินค้าและลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังลงได้

6.2 จากการใช้ Microsoft Excel เป็นแบบจำลองและการวิเคราะห์ผลลัพธ์ ในการจัดการสินค้าคงคลัง และกระบวนการสั่งซื้อสินค้า เพื่อลดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าเข้ามาเกินความต้องการ ควบคุมการสั่งซื้อและการจัดเก็บสินค้าที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า มูลค่าเฉพาะสินค้าสินค้ากลุ่ม A มีมูลค่าสินค้าอยู่ 482,938 บาท ถ้าบริษัทไม่ทำการสั่งซื้อสินค้าเข้ามาใหม่นี้เข้ามา แต่ใช้วิธีการกระตุ้นการใช้สินค้าคงคลังที่มีทดแทนไปก่อน ทำให้มูลค่าของสินค้ากลุ่ม A ลดลงไปถึง 184,227 บาท คิดเป็นร้อยละ 27 จากมูลค่าของสินค้าคงคลังทั้งหมด

6.3 การออกแบบการจัดคลังสินค้าใหม่ เนื่องจากคลังสินค้าได้ประสบปัญหาสินค้ามากใช้พื้นที่การจัดเก็บสินค้าเต็มพื้นที่ เกิดการวางสินค้าที่ไม่เรียบร้อย ไม่มีหมวดหมู่และไม่มีข้อมูลตำแหน่งจัดเก็บของสินค้าที่ชัดเจน และคลังสินค้าไม่สามารถจัดเก็บสินค้าที่มีในพื้นที่คลังสินค้าได้อีก บริษัทจึงต้องเช่าพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าเพิ่มในคลังที่ 2 หลังการจัดการคลังสินค้าทำให้เกิดการจัดเก็บสินค้าให้เป็นหมวดหมู่ รวดเร็วในการตรวจสอบสต็อกที่มีอยู่ในคลังสินค้า สะดวกต่อการ Picking เพื่อนำไปใช้งานในอนาคต เมื่อบริษัทได้ระบายสินค้าคงคลังที่เกินความจำเป็นในคลังสินค้าออกไปหมด คาดว่าบริษัทในกรณีศึกษาสามารถลดต้นทุนในการจัดเก็บรักษาได้ถึง 74,000 บาท หรือร้อยละ 6.17 จากมูลค่าการจัดเก็บรักษาทั้งหมด

## 7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ผลจากการศึกษาได้แสดงให้เห็นว่า บริษัทที่เป็นกรณีศึกษาควรนำทฤษฎี ABC Analysis และเทคนิค EOQ Model มาประยุกต์ใช้กับธุรกิจสินค้าคงคลังสำรองในกลุ่ม B และ C ซึ่งจะส่งผลดีกับธุรกิจในการลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลัง อีกทั้งยังสามารถควบคุมสินค้าคงคลังได้เป็นอย่างดี

7.2 เพื่อให้ปริมาณการสั่งซื้อแต่ละครั้งมีปริมาณลดลง การติดต่อกับซัพพลายเออร์รายอื่น ๆ ที่สามารถขายสินค้าให้กับบริษัทในปริมาณขั้นต่ำที่ต้องการได้ จะสามารถช่วยให้บริษัทไม่ต้องจัดซื้อสินค้าในปริมาณมากเกินไปจนทำให้เปลืองพื้นที่ในการจัดเก็บ และมีค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสูง

7.3 หลักการพิจารณาที่นำมาใช้ในการจัดกลุ่มสินค้า ควรมีการทบทวน เพื่อนำมาพิจารณาอย่างต่อเนื่อง เพราะเมื่อเวลาผ่านไปสินค้าบางอย่างอาจมีความสำคัญเพิ่มขึ้นหรือลดลงและส่งผลให้การจัดกลุ่มสินค้าคงคลังเปลี่ยนไป ควรทำการตรวจสอบการปรับเปลี่ยนนโยบายการสั่งซื้อทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ในส่วนของปริมาณความต้องการที่ผิดปกติเนื่องจากปริมาณความต้องการของสินค้าคงคลังมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

## 8. เอกสารอ้างอิง

- โชติกา ทองสุโชติ. (2552). **การจัดการควบคุมสินค้าคงคลังโดยวิธี ABC Analysis ของธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง กรณีศึกษา บริษัท เอ.ซี. เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ ดีไซน์ จำกัด**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- นภัสสร สกฤตประดิษฐ์. (2560). **การจัดการสินค้าคงคลังในโรงงานผลิต และกระจายสินค้าแช่แข็ง**. การศึกษาค้นคว้าอิสระ, สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นันทวรรณ สมศรี และ ศุภฤกษ์ เหล็กดี. (2563). **การลดต้นทุนสินค้าคงคลังด้วยวิธี ABC – FSN Analysis**. โครงการงานวิศวกรรม, วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ วิทยาลัยนวัตกรรมการเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ปิยะนันท์ คำภิโร. (2555). **กระบวนการจัดชั้นเชิงวิเคราะห์สำหรับการแยกประเภทวัสดุคงคลังและการกำหนดนโยบายสั่งซื้อสำหรับวัสดุกลุ่ม A**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง, สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- พิมสิริ ช่างจัน. (2557). **ระบบสินค้าคงคลังโดยใช้ทฤษฎีสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา ร้านค้าสหกรณ์ชุมชนบ้านหนองคำ ตำบลโนนทอน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น**. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง, สาขาวิชาสถิติ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์ บัณฑิต มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- วสุธิดา นักเกษม และ ประสพชัย พสุนนท์. (2561, มกราคม - เมษายน). **ปัจจัยที่ส่งผลต่อการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันของผู้ประกอบการธุรกิจบริการในเขตกรุงเทพมหานคร**. Veridian E-Journal, Silpakorn University. 11(1), 2148-2151.

## การศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

### The Properties of Fuel Briquette from Coffee grounds and Copra meal

ลัดดา ทองชูช่วย<sup>1</sup> วรรัตน์ ปีตรประกร<sup>2</sup> และ แววบุญ แยมแสงสังข์<sup>3</sup>

<sup>1</sup> หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตและเทคโนโลยี (สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-mail: Thongchuchay622@gmail.com

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

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

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

E-mail: weawboon.yam@stou.ac.th

Ladda Thongchuchay<sup>1</sup>, Worarat Pattaraprakorn<sup>2</sup> and Weawboon Yamsangsung<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Master of Science (Industrial Technology), Sukhothai Thammathirat Open University

<sup>2</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

<sup>3</sup> School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University

วันที่รับบทความ 13 พฤศจิกายน 2565

วันที่แก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565

วันที่ตอบรับบทความ 26 ธันวาคม 2565

#### บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (2) เพื่อศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้า (3) เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและต้นทุนในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

วิธีดำเนินการวิจัย (1) ทดสอบสมบัติของกากกาแฟ กากมะพร้าว แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้า (2) ขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน (3) ทดสอบสมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน (4) ทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน (5) ศึกษาการคำนวณต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง

ผลการวิจัยพบว่า (1) เชื้อเพลิงอัดแท่งที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานอัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ ยกเว้นอัตราส่วน 0:10:2.6 ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ (2) การทดสอบสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งให้ค่าความร้อนสูงสุดที่ 5,524 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในอัตราส่วน 2.5:7.5:2.6 โดยมีแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน (3) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของกากกาแฟต้นทุนต่อหน่วยการผลิตจะเพิ่มขึ้นตามลำดับโดยเพิ่มจากเฉลี่ย 4.08 บาท เป็น 6.33 บาทต่อแท่งของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

**คำสำคัญ:** เชื้อเพลิงอัดแท่ง กากมะพร้าว กากกาแฟ แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า

### Abstract

The purposes of this research were: (1) to study the propiate ratio of copra meal and coffee grounds to form fuel briquettes. (2) to study the propiate starch type to use as binder material to form fuel briquettes from copra meal and coffee grounds between tapioca starch and rice flour. (3) to study the physical properties, fuel properties and the unit of cost of production for fuel briquette.

The research methods are: (1) test the physical properties of coffee grounds and copra meal. (2) form the fuel briquette using tapioca starch and rice flour for binder. (3) test the physical properties of the fuel briquette with tapioca starch and rice flour as binder. (4) test the fuel properties of the fuel briquette with tapioca starch and rice flour are binder. (5) study the unit cost of production of the fuel briquette.

The results of this research were as follow: (1) The fuel briquette is between coffee grounds and copra meal which tapioca starch and rice flour as binder the ratio at 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 and 10:0:2.6 can form in good shape but the ratio at 0:10:2.6 was not. (2) the fuel briquette with the highest thermal efficiency was 5,524 kilocalories per kilogram at ratio 2.5:7.5:2.6 with rice flour as the binder. (3) when increasing the ratio of copra meal the unit cost of production is increased from 4.08 Baht/piece to 6.33 Baht/piece

**Keywords:** Fuel briquettes, Copra meal, Coffee grounds, Tapioca starch, Rice flour

## 1. บทนำ

สถานการณ์พลังงานประเทศไทยในปัจจุบันมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพบว่า ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย (Final Energy Consumption) ในปี 2564 เท่ากับ 125,709 ktoe คิดเป็นอัตราการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 4.7 เมื่อเทียบกับปี 2550 ที่มีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายเพียง 65,633 ktoe

ปัจจุบันได้มีความพยายามศึกษา ค้นคว้า วิจัย และพัฒนาพลังงานทดแทนรูปแบบต่าง ๆ ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อช่วยประหยัดพลังงาน และลดค่าใช้จ่าย โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพึ่งพาพลังงานจากแหล่งในท้องถิ่น และภายในประเทศเพื่อให้สามารถผลิต และใช้พลังงานอย่างยั่งยืน โดยเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่เหมาะสมที่จะเป็นพลังงานทดแทนในประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีศักยภาพทางการผลิตวัตถุดิบสำหรับเชื้อเพลิงชีวมวลสูงมาก ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือกากกาแฟและกากมะพร้าว

ณ ปัจจุบันมีการบริโภคมะพร้าวและกาแฟในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับสมัยก่อน มีอุตสาหกรรมผลิตน้ำกะทิ และมีร้านกาแฟบริการอย่างแพร่หลายทำให้มีกากมะพร้าวที่เหลือจากการคั้นน้ำกะทิ และกากกาแฟที่เหลือจากการชงในปริมาณมาก โดยผลิตผลจากมะพร้าวมีปริมาณ 858,235 ตันต่อปี กากกาแฟ 25,909 ตันต่อปี ข้อมูลจาก สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร พ.ศ. 2561 ซึ่งกลายเป็นขยะ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานในการกำจัดขยะดังกล่าว แต่ขยะดังกล่าวสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อเป็นพลังงานทางเลือก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมครัวเรือน หรืออาจขยายไปสู่อุตสาหกรรมต่อไป

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาสมบัติของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเย็น ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเชื้อเพลิง และศึกษาดัชนีของการผลิต

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง
2. เพื่อศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นตัวประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้า
3. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและต้นทุนการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

## 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ (2562) ศึกษาเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ดจากเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟโดยศึกษาปริมาณแป้งที่ใช้เป็นตัวเชื่อมประสานในการขึ้นรูปที่แตกต่างกันคือ ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก เลือกสภาวะที่ดีที่สุด จากนั้นทำการศึกษาสัดส่วนของเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟที่มีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด สัดส่วนที่ศึกษาคือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 วิเคราะห์สมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ด ผลการทดลองพบว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวเชื่อมประสานที่ร้อยละ 20 กับกากกาแฟในสัดส่วน 100:0 จะมีผลต่อสมบัติของเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ดีที่สุด เชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากกาแฟอย่างเดียวมีคุณภาพสูงกว่าเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟอย่างเดียว ซึ่งเชื้อเพลิงอัดเม็ดที่ผลิตจากกากกาแฟมีสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงสูงสุด คือ มีค่าความร้อน 17.2772 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ ประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับร้อยละ 16.59 ส่วนผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมพบว่าเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟต่อกากกาแฟที่อัตราส่วน 25:75 ดีที่สุด ทำให้เชื้อเพลิงมีคุณภาพสูงสุด คือค่าความร้อนเท่ากับ 17.1544 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และประสิทธิภาพการใช้งานของเชื้อเพลิงอัดเม็ดเท่ากับร้อยละ 16.48 จากการวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่า ความชื้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชีวมวล ซึ่งสรุปได้ว่าเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดเม็ดได้

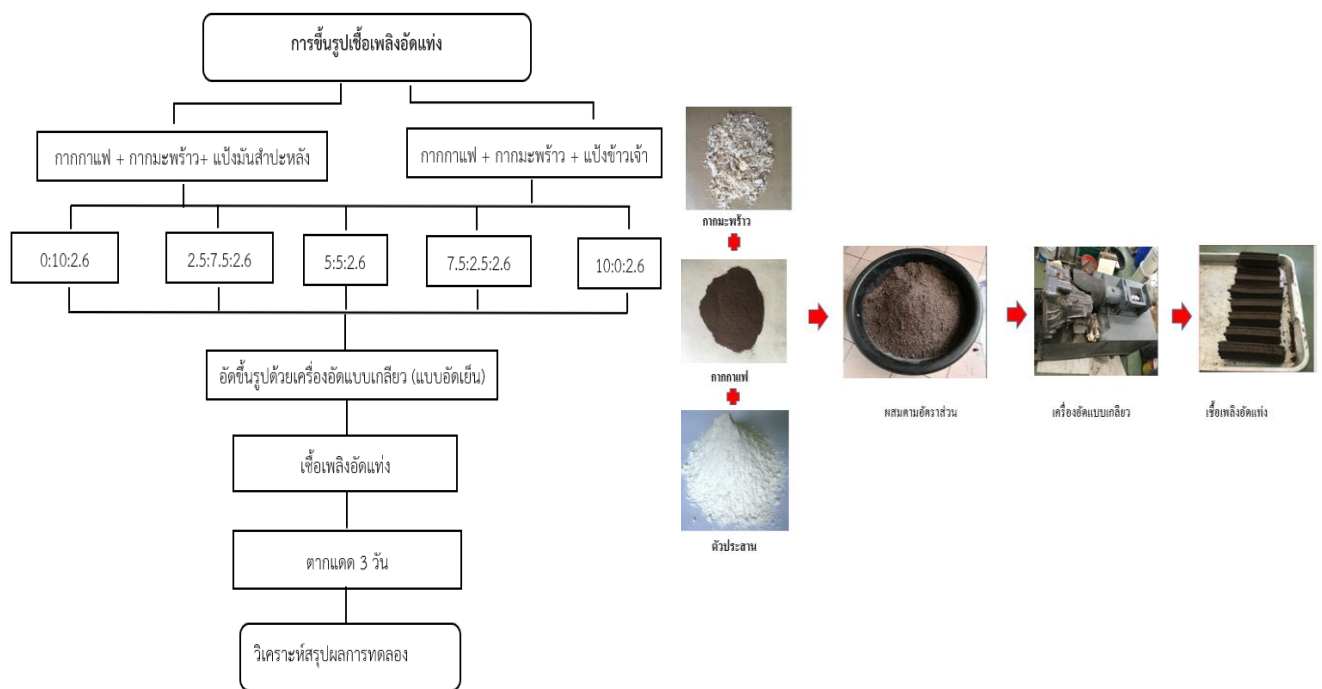
นฤภัทร ตั้งมันคงวรกุล และ พชร ปริตาสุริยะชัย (2558) ศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง โดยการผลิตก้อนเชื้อเพลิง 2 แบบคือ แบบแรกนำกากชา และกากกาแฟอบให้แห้ง แล้วนำมาผสมกับกากแป้งเปียกอัตราส่วน 9:1 จากนั้นนำไปอัดเป็นก้อนโดยการอัดเย็น แล้วนำไปอบให้แห้ง ส่วนแบบที่ 2 จะนำกากกาแฟ และ กากชา ไปผ่านกระบวนการคาร์บอนไนซ์ที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส อัตราการ ไพรไรซิส 10 องศาต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำกากชา และกากกาแฟที่ได้มาผสมกับกากแป้งเปียกอัตราส่วน 9:1 จากนั้นนำไปอัดเป็นก้อนโดยการอัดเย็น แล้วนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำก้อนเชื้อเพลิงทั้งสองแบบไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ ค่าความร้อน ความชื้น ร้อยละของสารระเหย ค่าคาร์บอนคงตัว ซึ่งผลการทดลองพบว่า การคาร์บอนไนซ์กากกาแฟและกากชาและการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงรวมถึงการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ การติดไฟ ปริมาณควันไฟ ซึ่งพบว่าแท่งเชื้อเพลิงที่ผ่านการคาร์บอนไนซ์กากกาแฟและกากชา มีค่าความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5,517 แคลอรีต่อกรัมไปเป็น 7,460 แคลอรีต่อกรัม และกากชาเพิ่มขึ้นจาก 4,482 แคลอรีต่อกรัม ไปเป็น 5,600 แคลอรีต่อกรัมตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาค่าความชื้น ปริมาณเถ้าและปริมาณธาตุที่มีอยู่ในแท่งเชื้อเพลิงพบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานชีวมวลที่กำหนด และสมบัติทางกายภาพของแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากกาแฟ สามารถขึ้นรูปง่ายไม่แตกร่วน ไม่เปื้อนมือ ติดไฟง่าย ในขณะที่เผาไหม้ไม่พบการแตกปะทุและไม่มีความชื้น ส่วนแท่งเชื้อเพลิงที่ผลิตจากกากชาเมื่อหยิบใช้ไม่เปื้อนติดมือเช่นกัน ติดไฟได้ดี ไม่มีการแตกปะทุ แต่ยังมีควัน เนื่องจากยังมีสารระเหยอยู่ในปริมาณสูงกว่ากากกาแฟ

ชมธิดา ชื่นนิยม (2553) ได้ทำการการศึกษาเกี่ยวกับเชื้อเพลิงอัดแท่งจากชังข้าวโพดโดย เปรียบเทียบตัวประสาน 4 ชนิดคือ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล กากของเสียจากโรงงานกระดาษ และน้ำมันเครื่อง ที่อัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ผลการทดลองพบว่า การอัดแท่งเศษชังข้าวโพดที่ อัตราส่วนร้อยละ 50 แป้งมันสำปะหลัง เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอัด

ง่าย มีความแข็งแรงสูง ใช้เวลาในการจุดติดไฟต่ำ เมื่อใช้กากน้ำตาลเป็นตัวเชื่อมประสานจะได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีค่าความคงตัวของถ้ำและระยะเวลาในการเผาไหม้สูงสุด ในขณะที่เมื่อใช้กากของเสียจากโรงงานกระดาษเป็นตัวประสาน จะได้เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อน ค่าดัชนีการแตก่วน และค่าความต้านทานน้ำสูงสุด

#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การทดสอบสมบัติของกากกาแฟและกากมะพร้าว
2. การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน
3. ทดสอบสมบัติทางกายภาพ เช่นการทดสอบความหนาแน่น ทดสอบดัชนีการแตก่วน ทดสอบความทนต่อแรงกด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน
4. ทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิง คือการหาค่าความร้อน การหาค่าปริมาณคาร์บอนคงตัว การหาค่าปริมาณถ้ำ การหาค่าปริมาณสารระเหย การหาค่าปริมาณความชื้นและศึกษาต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน



รูปที่ 1 การขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง

#### 5. ผลการวิจัย

##### 5.1 ผลการศึกษาสมบัติของกากกาแฟและกากมะพร้าว

จากการทดสอบสมบัติของกากกาแฟและกากมะพร้าวพบว่ากากกาแฟมีค่าความชื้นร้อยละ 9.40 ปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 74.52 ค่าถ้ำคงตัวร้อยละ 10.91 ปริมาณถ้ำร้อยละ 1.05 และค่าความร้อน 4,950 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม และกากมะพร้าวมีค่าความชื้นร้อยละ 7.95 ปริมาณสารระเหยได้ร้อยละ 84.30 ค่าถ้ำคงตัวร้อยละ 6.78 ปริมาณถ้ำร้อยละ 0.89 และค่าความร้อน 5,948 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติกากกาแฟและกากมะพร้าว

| สมบัติ                              | กากกาแฟ | กากมะพร้าว |
|-------------------------------------|---------|------------|
| ค่าความชื้น (ร้อยละ)                | 9.40    | 7.95       |
| ปริมาณสารระเหยได้ (ร้อยละ)          | 74.52   | 84.30      |
| ค่าถ่านคงตัว (ร้อยละ)               | 10.91   | 6.87       |
| ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)                 | 1.05    | 0.89       |
| ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) | 4,950   | 5,948      |

5.2 จากการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ผสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยใช้แ่งมันสำปะหลังและ แ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานที่อัตราส่วน 0:10:2.6, 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 เชน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ ส่วน อัตราส่วน 0:10:2.6 ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้ ทั้งสูตรที่ใช้แ่งมันสำปะหลัง และแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ดังตารางที่ 2 และภาพที่ 2

ตารางที่ 2 ลักษณะที่ปรากฏของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

| เชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แ่งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน |                               | เชื้อเพลิงอัดแท่งใช้แ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน |                               |
|-------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| อัตราส่วน<br>(กากกาแฟ:<br>กากมะพร้าว)           | ลักษณะที่ปรากฏ                | อัตราส่วน<br>(กากกาแฟ:<br>กากมะพร้าว)        | ลักษณะที่ปรากฏ                |
| 0:10:2.6                                        | ไม่สามารถอัดแท่งได้           | 0:10:2.6                                     | ไม่สามารถอัดแท่งได้           |
| 2.5:7.5:2.6                                     | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี | 2.5:7.5:2.6                                  | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี |
| 5:5:2.6                                         | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี | 5:5:2.6                                      | ผิวขรุขระเล็กน้อยอัดแท่งได้ดี |
| 7.5:2.5:2.6                                     | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          | 7.5:2.5:2.6                                  | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          |
| 10:0:2.6                                        | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          | 10:0:2.6                                     | ผิวเรียบอัดแท่งได้ดี          |

อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6



(ก)

อัตราส่วน 5:5:2.6



(ข)

อัตราส่วน 7.5:2.5:2.6



(ค)

อัตราส่วน 10:0:2.6



(ง)

### เชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน

อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6



(จ)

อัตราส่วน 5:5:2.6



(ฉ)

อัตราส่วน 7.5:2.5:2.6



(ช)

อัตราส่วน 10:0:2.6



(ซ)

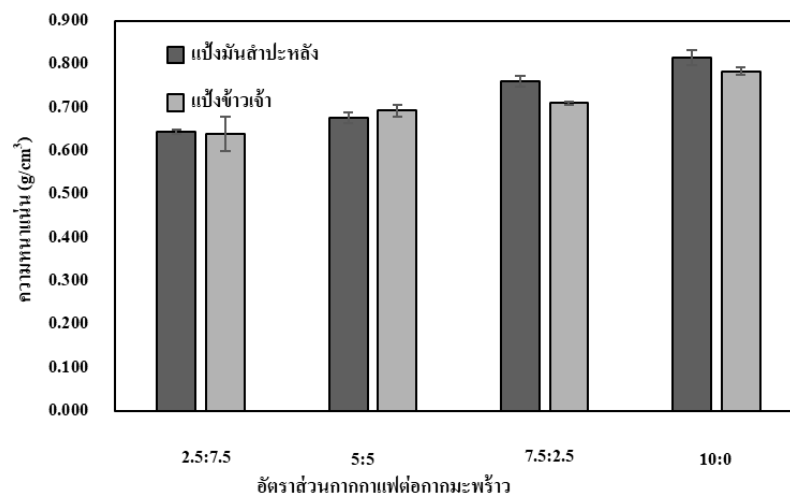
### เชื้อเพลิงอัดแท่งโดยใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

รูปที่ 2 แสดงผลตัวอย่างการอัดแท่งเชื้อเพลิงในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

5.3. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ การทดสอบความหนาแน่น ทดสอบดัชนีการแตกร่วน ทดสอบความทนแรงกด ของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน ผลดังตารางที่ 3 และภาพที่ 3

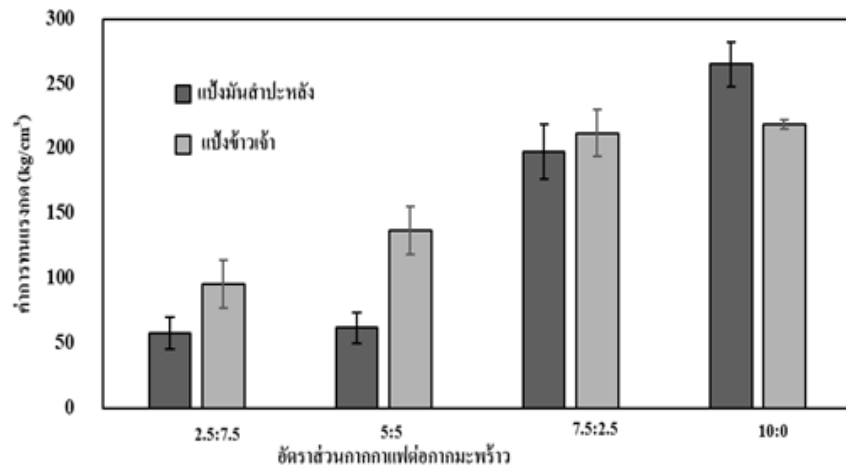
ตารางที่ 3 สมบัติทางด้านกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

| หัวข้อการทดสอบ                               | แป้งมันสำปะหลัง | แป้งข้าวเจ้า  |
|----------------------------------------------|-----------------|---------------|
| ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)       | 0.644 - 0.815   | 0.639 - 0.784 |
| ดัชนีการแตกร่วน                              | 0.935 - 0.988   | 0.990 - 0.998 |
| ความต้านทานแรงกด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) | 58 - 265        | 96 - 219      |



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อกากมะพร้าว  
ต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่น ดัชนีการแตกร่วนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากกากกาแฟมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้ความหนาแน่นสูงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ, 2562) ซึ่งเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ดีควรมีความหนาแน่นต่ำเนื่องจากจะทำให้จุดติดได้เร็ว (ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์, 2560)



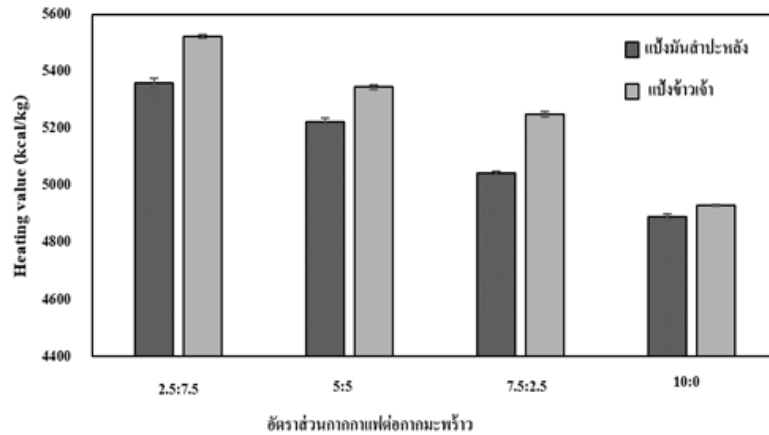
**รูปที่ 4** แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานแรงกดของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อถ่านต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านแรงกด มีค่าเพิ่มขึ้นทั้งอัตราส่วนที่ใช้ แยมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน เนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดี ส่งผลให้การทนแรงกดเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ, 2562)

5.4 ผลการทดสอบสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง ได้แก่ ค่าความร้อน ค่าคาร์บอนคงตัว ค่าปริมาณเถ้า ค่าสารระเหย และค่าความชื้น ดังตารางที่ 4 กราฟแสดงค่าความร้อน ค่าคาร์บอนคงตัว ความชื้น และการศึกษาต้นทุนในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง ดังภาพที่ 5, 6 , 7 และ 8 ตามลำดับ

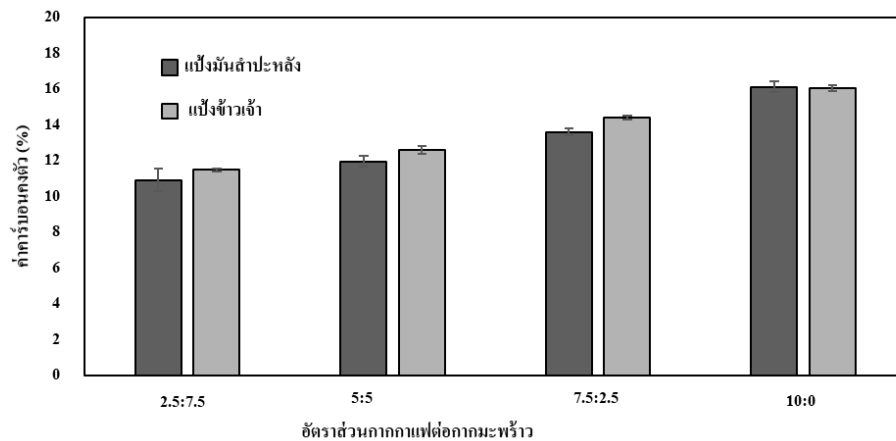
**ตารางที่ 4** สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่ง

| การทดสอบ                            | แยมันสำปะหลัง | แป้งข้าวเจ้า  |
|-------------------------------------|---------------|---------------|
| ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)             | 5.42 - 7.00   | 4.47 - 6.00   |
| ปริมาณสารระเหย (ร้อยละ)             | 77.33 - 82.53 | 77.42 - 82.71 |
| ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)                 | 1.08 - 1.24   | 1.04 - 1.33   |
| ปริมาณคาร์บอนคงตัว (ร้อยละ)         | 10.91 - 16.11 | 11.49 - 16.04 |
| ค่าความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม) | 4,890 - 5,360 | 4,929 - 5,524 |



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟต่อไขมันพร้าวต่อตัว  
 ประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

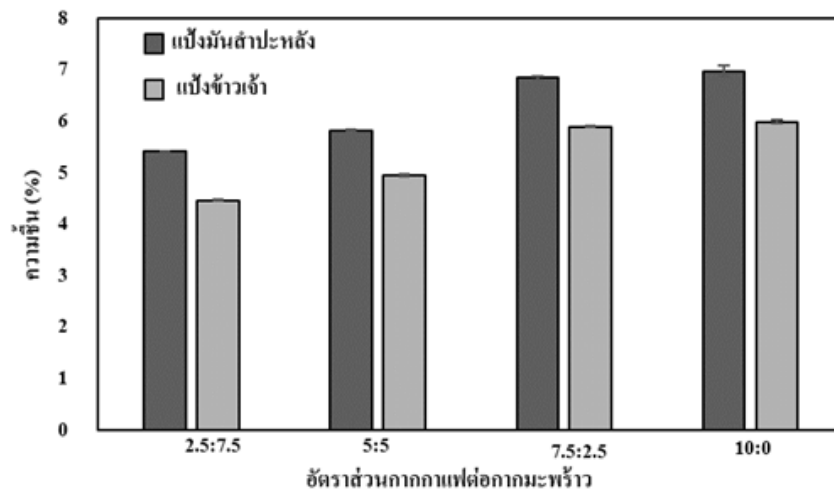
จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อนมีค่าลดลงเนื่องจากกากกาแฟมีความชื้นมากกว่าไขมันพร้าวส่งผลให้ค่าความร้อนลดลงตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น (วิศรุต ยันตติลล, 2560) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวประสาน 2 ชนิดระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันมะพร้าว พบว่าที่อัตราส่วนต่างๆน้ำมันมะพร้าว จะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่ง มีค่าความร้อนมากกว่า การใช้ไขมันปาล์มเป็นตัวประสาน เนื่องจากไขมันมะพร้าวมีความชื้นน้อยกว่า น้ำมันปาล์มจึงทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้ไขมันปาล์มเป็นตัวเชื่อมประสานมีค่าความร้อนมากกว่า (สมศักดิ์ รักดีวารณ, 2544)



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนคงตัวของเชื้อเพลิงอัดแท่งกับอัตราส่วนระหว่างกากกาแฟ  
 ต่อไขมันพร้าวต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

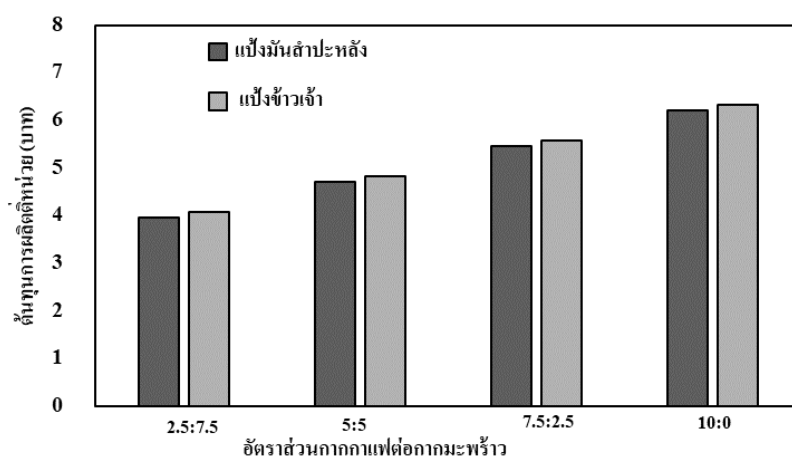
จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และ กนกวรรณภูมิวิชิกิจ, 2562) เนื่องจากคุณสมบัติของกากกาแฟมีค่าคาร์บอนคงตัวที่

มากกว่ากากมะพร้าว ซึ่งค่าคาร์บอนคงที่แสดงถึงความสามารถในการเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณภาพดีขึ้นและระยะเวลาในการมอดดับที่นานขึ้น (วิศรุต ยนต์ติก, 2560)



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากผลการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เพราะกากกาแฟมีความชื้นมากกว่ากากมะพร้าวเมื่ออัตราส่วนกากกาแฟมากขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวประสาน 2 ชนิดระหว่างแบริ่งมันสำปะหลังกับแบริ่งข้าวเจ้า พบว่าที่อัตราส่วนต่างๆแบริ่งมันสำปะหลังจะทำให้ได้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่มีความชื้นมากกว่าการใช้แบริ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานเนื่องจากแบริ่งมันสำปะหลังมีความชื้นมากกว่าแบริ่งข้าวเจ้าเมื่อนำมาเป็นตัวเชื่อมประสานทำให้เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้มีความชื้นมากกว่า (สมศักดิ์ รักดีวารณ, 2544)



รูปที่ 8 กราฟแสดงต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่งระหว่างกากกาแฟต่อกากมะพร้าวต่อตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6

จากการศึกษาพบว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่อัตราส่วนต่างๆ ของกากกาแฟต่อกากมะพร้าวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นตัวประสาน มีค่าต้นทุนเท่ากับ 3.969, 4.719, 5.469 และ 6.219 บาทตามลำดับ ส่วนเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานมีค่าต้นทุนเท่ากับ 4.086, 4.836, 5.586 และ 6.336 บาท ตามลำดับ จะเห็นว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้ง 2 ตัวเชื่อมประสานให้ผลการทดลองที่เหมือนกันคือเมื่อปริมาณกากกาแฟเพิ่มขึ้นต้นทุนในการผลิตก็จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีราคาแพงกว่ากากมะพร้าว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวประสานพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานมีต้นทุนแพงกว่าเล็กน้อยเนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีราคาแพงกว่าแป้งมันสำปะหลังเล็กน้อย

## 6. อภิปรายผลการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างกากกาแฟและกากมะพร้าวในการขึ้นรูปเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง พบว่าเชื้อเพลิงอัดแท่งกากกาแฟต่อกากมะพร้าวโดยใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานที่อัตราส่วน 2.5:7.5:2.6, 5:5:2.6, 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 สามารถอัดเป็นแท่งได้ดี โดยที่สูตร 2.5:7.5:2.6 และ 5:5:2.6 มีผิวขรุขระเล็กน้อย ส่วน 7.5:2.5:2.6 และ 10:0:2.6 ผิวเรียบสวยงาม ส่วนอัตราส่วน 0:10:2.6 ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้เนื่องจากมีแค่กากมะพร้าวกับตัวประสานซึ่งกากมะพร้าวมีอนุภาคที่ใหญ่ และมีน้ำมันที่หลงเหลือจากการคั่นกะทิจึงไม่สามารถจับตัวเป็นแท่งได้ ส่วนผลการทดลองชนิดของตัวเชื่อมประสานพบว่าลักษณะของก้อนเชื้อเพลิงที่ได้จากการใช้ตัวประสานทั้ง 2 ชนิดไม่แตกต่างกัน

2. ศึกษาชนิดของแป้งที่เหมาะสมในการทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง จากกากกาแฟและกากมะพร้าวโดยเปรียบเทียบระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเจ้า จากการทดลองมีการเปรียบเทียบตัวประสานระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าพบว่า เชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้จากตัวประสานทั้ง 2 ชนิดแตกต่างกันเล็กน้อยทั้งลักษณะทางกายภาพ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางด้านเชื้อเพลิง

3. ศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพ สมบัติทางด้านเชื้อเพลิงและต้นทุนในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากกาแฟและกากมะพร้าว

3.1 สมบัติทางด้านทางกายภาพ เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถขึ้นรูปได้ทั้งสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

3.1.1 ค่าความหนาแน่นจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าค่าความหนาแน่นจะมีค่ามากขึ้นตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีอนุภาคขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้ความหนาแน่นสูง

3.1.2 ค่าครั้นการแตกร่วนจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าค่าดัชนีการแตกร่วนจะมีค่ามากขึ้นตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่มากขึ้นเช่นกันเนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้ดัชนีการแตกร่วนเพิ่มขึ้น

3.1.3 ค่าความต้านทานแรงกดจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าการต้านแรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีขนาดเล็กทำให้เกิดแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคได้ดีส่งผลให้การทนแรงอัดเพิ่มขึ้น

3.2 สมบัติทางด้านเชื้อเพลิง เป็นการศึกษาสมบัติทางด้านเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถขึ้นรูปได้ทั้งสูตรที่ใช้ แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน

3.2.1 ค่าความร้อน จากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความร้อน มีค่าลดลงเนื่องจากกากกาแฟมีความชื้นมากกว่ากากมะพร้าวส่งผลให้ค่าความร้อนลดลงตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น และตัวกากมะพร้าวมีค่าความร้อนมากกว่ากากกาแฟ ดังนั้น เมื่อปริมาณกากมะพร้าวเพิ่มขึ้นจึงทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งมากขึ้นตาม

3.2.2 ปริมาณคาร์บอนคงตัวจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนคงตัวเพิ่มขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติของกากกาแฟมีค่าคาร์บอนคงที่ที่มากกว่า กากมะพร้าว ซึ่ง ค่าคาร์บอนคงที่แสดงถึงความสามารถในการเผาไหม้ได้ของเชื้อเพลิงอัดแท่งซึ่งส่งผลให้เชื้อเพลิงอัดแท่งมีคุณภาพดีขึ้นและระยะเวลาในการมอดดับที่นานขึ้น

3.2.3 ปริมาณสารระเหยจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นอัตราส่วนของกากมะพร้าวน้อยลงส่งผลให้ปริมาณสารระเหยลดลงเนื่องจากกากมะพร้าวมีปริมาณสารระเหยมากกว่ากากกาแฟเมื่ออัตราส่วนของกากมะพร้าวของเชื้อเพลิงอัดแท่งลดลงจึงทำให้ปริมาณสารระเหยลดลงด้วย

3.2.4 ปริมาณเถ้าจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟมากขึ้นทำให้ปริมาณเถ้าลดลง

3.2.5 ค่าความชื้นจากการศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งทั้งที่ใช้แ่งมันสำปะหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสานพบว่าเมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นเช่นนี้เพราะกากกาแฟมีความชื้นมากกว่า กากมะพร้าว เมื่ออัตราส่วนของกากกาแฟมากขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นของเชื้อเพลิงอัดแท่งมีค่าเพิ่มขึ้น

3.3 ต้นทุนในการขึ้นรูปเชื้อเพลิงอัดแท่งเป็นการศึกษาต้นทุนในการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งที่สามารถขึ้นรูปได้ทั้งสูตรที่ใช้แ่งมันสำปะหลังและแ่งข้าวเจ้าเป็นตัวประสาน จากการศึกษาต้นทุนในการผลิตต่อหน่วยจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของกากกาแฟที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากกากกาแฟมีราคาแพงกว่ากากมะพร้าว

## 7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำเชื้อเพลิงอัดแท่งที่ได้ไปเผาให้เป็นถ่านเพื่อเพิ่มอายุการจัดเก็บและเพิ่มค่าความร้อน
2. ควรศึกษาการขึ้นรูปแบบอื่นเพื่อสามารถใช้งานที่หลากหลายตามวัตถุประสงค์ เช่น แบบอัดเม็ด

## 8. เอกสารอ้างอิง

- จุฑาภรณ์ ชนะถาวรณ และ กนกวรรณ ภูมิวนิชกิจ. (2562). ผลของเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟต่อสมบัติของเชื้อเพลิง ชีวมวลอัดแท่ง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยแม่โจ้, เชียงใหม่.
- ชมธิดา ชื่นนิยม. (2553). การศึกษาการเพิ่มมูลค่าของเศษซังข้าวโพดโดยการทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- นฤภัทร ตั้งมั่นคงวรกุล และ พิชรี ปริดาสุริยะชัย. (2558). การศึกษากากกาแฟและกากชามาใช้ประโยชน์ในรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพมหานคร.
- ณัฐนิช บุญเฉลิมรัตน์. (2560). การประยุกต์ใช้กากกาแฟและเปลือกมะขามเพื่อเป็นแท่งเชื้อเพลิงชีวมวล (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- วิศรุต ยันตะดิลก. (2560). การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากกากมะพร้าวร่วมกับผงถ่านโก่งกวาง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร.
- สมศักดิ์ รักดีวารณ. (2544). การผลิตฟิล์มที่รับประทานได้จากแ่งข้าวเจ้าและแ่งมันสำปะหลัง (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.

**คำแนะนำในการจัดเตรียมต้นฉบับสำหรับผู้เขียน**  
**วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช**

**1. ข้อมูลเบื้องต้นของวารสาร**

**ขอบเขตเนื้อหา** ประกอบด้วย

- 1.1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 1.2 วิศวกรรม
- 1.3 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
- 1.4 เทคโนโลยีสารสนเทศ
- 1.5 สหวิทยาการ

**2. นโยบายการพิจารณาตีพิมพ์ผลงาน**

**2.1 คำแนะนำทั่วไป**

2.1.1 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุม หรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน (ยกเว้นรายงานวิจัย และวิทยานิพนธ์)

2.1.2 ผลงานที่เสนอตีพิมพ์ต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารหรือสิ่งตีพิมพ์อื่นใด ทัศนะและข้อคิดเห็นใดๆ ในบทความถือเป็นทัศนะของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นพ้องด้วยกับทัศนะเหล่านั้นและไม่ถือว่าเป็นความรับผิดชอบของกองบรรณาธิการ กรณีมีการฟ้องร้องเรื่องการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนแต่เพียงฝ่ายเดียว

2.1.3 ลิขสิทธิ์บทความเป็นของผู้เขียน และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ได้รับการสงวนสิทธิตามกฎหมาย การตีพิมพ์ซ้ำต้องได้รับอนุญาตโดยตรงจากผู้เขียนและสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เป็นลายลักษณ์อักษร

**2.2 ประเภทผลงานที่รับตีพิมพ์**

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช รับพิจารณาตีพิมพ์บทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ดังนี้

- 2.2.1 บทความวิชาการ (Academic Article)
- 2.2.2 บทความวิจัย (Research Article)
- 2.2.3 บทความปริทัศน์ (Review Article)
- 2.2.4 บทวิจารณ์หนังสือ (Book Review)

## 2.3 การพิจารณาถ้อยแถลงบทความ

2.3.1 บทความที่จะได้รับพิจารณาตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความที่แสดงให้เห็นถึงคุณภาพทางวิชาการและมีประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีเพื่อให้นักวิจัยสามารถนำไปพัฒนาหรือสร้างองค์ความรู้ใหม่ และประโยชน์ในเชิงปฏิบัติที่นักปฏิบัติสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทั้งในภาคส่วนต่างๆ ทั้งภาครัฐ ภาคธุรกิจ และภาคสังคมและชุมชน

2.3.2 บทความที่จะได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านกระบวนการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่านและได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

## 2.4 กระบวนการพิจารณาถ้อยแถลงบทความ (Peer Review)

2.4.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้เขียนทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพทางวิชาการ และประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ

2.4.2 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไป โดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 3 ท่าน ประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ ทั้งผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ ควรนำลงตีพิมพ์ หรือควรส่งให้ผู้เขียนแก้ไขแล้วส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิประเมินอีกครั้งหนึ่ง หรือปฏิเสธ การตีพิมพ์

## 3. ข้อกำหนดต้นฉบับ

### 3.1 การจัดพิมพ์ต้นฉบับ

3.1.1 ผลงานที่เสนอพิจารณาตีพิมพ์ควรมีความยาวประมาณ 5 – 15 หน้ากระดาษ A4

3.1.2 บทความภาษาไทย พิมพ์ด้วย TH Sarabun New ขนาดตัวอักษร 14 Point บทความภาษาอังกฤษ พิมพ์ด้วย TH SarabunNew ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.3 ระยะขอบกระดาษ 1 นิ้ว (เท่ากันทุกด้าน)

3.1.4 ชื่อเรื่องบทความ ขนาดตัวอักษร 18 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.5 ชื่อหัวข้อ ขนาดตัวอักษร 16 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้ายของกระดาษ

3.1.6 บทคัดย่อภาษาไทย ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.7 บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ความยาว 1 ย่อหน้า (250 คำ) ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์ และต้องพิมพ์คำสำคัญต่อท้าย

3.1.8 เนื้อหาพิมพ์ 1 คอลัมน์ ขนาดตัวอักษร 14 Point

3.1.9 ชื่อและหมายเลขกำกับตาราง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้บนตารางจัดชิดซ้าย ได้ตารางบอกแหล่งที่มา จัดชิดซ้าย

3.1.10 ชื่อภาพและหมายเลขกำกับภาพ ชื่อแผนภูมิและหมายเลขกำกับแผนภูมิ ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) ให้พิมพ์ไว้ใต้ภาพ (ควรเป็นภาพที่ชัดเจน และควรแนบ File ภาพมาด้วย)

3.1.11 แผนภูมิ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ ใต้ภาพ แผนภูมิบอกแหล่งที่มา จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

3.1.12 ชื่อบรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย ส่วนเนื้อหา บรรณานุกรม/เอกสารอ้างอิง ขนาดตัวอักษร 14 Point พิมพ์ 1 คอลัมน์

3.1.13 พิมพ์ชื่อและนามสกุลของผู้เขียนทุกคน พร้อมระบุคุณวุฒิสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี) ตำแหน่งงาน และหน่วยงานที่สังกัด หรือสถานศึกษา และแนบ File .jpg ภาพถ่ายผู้เขียนมาด้วย

3.1.14 ผู้เขียนต้องตรวจสอบความถูกต้องของการพิมพ์ต้นฉบับ เช่น ตัวสะกด วรรคตอน และความ สละสลวยของการใช้ภาษา

## 3.2 ส่วนประกอบของบทความ

3.2.1 บทความวิชาการ หัวข้อและเนื้อหาควรชี้ประเด็นที่ต้องการนำเสนอให้ชัดเจนและมีลำดับ เนื้อหาที่เหมาะสมเพื่อให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจได้ชัดเจน รวมถึงมีการใช้ทฤษฎีวิเคราะห์และเสนอแนะประเด็น อย่างสมบูรณ์ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

สรุปเนื้อหาของบทความให้ได้ใจความชัดเจน กำหนดให้มีทั้งบทคัดย่อภาษาไทยและ ภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้า ไม่เกิน 250 คำ

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นส่วนแนะนำและปูพื้นเรื่องเพื่อให้ผู้อ่านทราบข้อมูลเบื้องต้นของเนื้อหา เป็นการจูงใจให้ ผู้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้น ๆ

(5) เนื้อหา (Body of Text)

เป็นส่วนหลักของเนื้อหาบทความ การจัดลำดับเนื้อหา ควรมีการวางแผนจัดโครงสร้างของ เนื้อหาที่นำเสนอให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเนื้อหานั้น การนำเสนอเนื้อหาควรมีความต่อเนื่องเพื่อช่วยให้ ผู้อ่านเข้าใจสาระนั้นได้โดยง่าย

(6) สรุป (Conclusion)

เป็นการสรุปเนื้อหาในบทความทั้งหมดออกมาอย่างชัดเจน และกระชับโดยมีการสรุปปิดท้าย เนื้อหาที่เราได้นำเสนอไปแล้วว่ามีผลดี หรือผลเสียอย่างไร

(6) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบ APA (American Psychological Association)

3.2.2 บทความวิจัย ควรมีการนำเสนอผลการวิจัยที่ได้รับอย่างเป็นระบบ โดยควรมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ (สามารถมีหัวข้อหรือองค์ประกอบที่แตกต่างได้)

(1) ชื่อเรื่อง (Title)

ชื่อเรื่องควรมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยพิมพ์ชื่อเรื่องเป็นภาษาไทยและตามด้วยชื่อเรื่องภาษาอังกฤษในบรรทัดต่อมา

(2) บทคัดย่อ (Abstract)

กำหนดให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยเขียนเป็นภาษาไทยก่อน ความยาว 1 ย่อหน้าไม่เกิน 250 คำ (การเขียนบทคัดย่อ คือ การสรุปสาระสำคัญของเรื่องโดยเฉพาะวัตถุประสงค์ วิธีการ และผลการวิจัย)

(3) คำสำคัญ (Keyword)

ระบุคำที่เป็นคำสำคัญของเนื้อหาเหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นคำค้นในระบบฐานข้อมูล

(4) บทนำ (Introduction)

เป็นการอธิบายถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา และเหตุผลที่นำไปสู่การวิจัยมีข้อมูลทางวิชาการสนับสนุนหรือโต้แย้ง รวมถึงแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

(5) วัตถุประสงค์ (Research Objectives)

ระบุถึงวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการวิจัย

(6) วิธีการวิจัย (Research Methodology)

อธิบายถึงกระบวนการดำเนินการวิจัยอย่างละเอียดและชัดเจน

(7) ผลการวิจัย (Results)

เสนอผลการวิจัยที่ตรงประเด็นตามลำดับขั้นของการวิจัย การใช้ตารางหรือแผนภูมิไม่ควรเกิน 5 ตารางหรือแผนภูมิโดยมีการแปลความหมายและวิเคราะห์ผลที่ค้นพบอย่างชัดเจน

(8) อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผสมผสานเปรียบเทียบและตีความผลการวิจัยให้เข้ากับหลักทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งเชื่อมโยงผลการวิจัยให้สอดคล้องกับประเด็นปัญหาการวิจัย

(9) สรุป (Conclusion)

สรุปสาระสำคัญของผลการวิจัย และให้ข้อเสนอแนะที่จะนำผลการวิจัยนั้นไปใช้ประโยชน์

(10) เอกสารอ้างอิง (Reference)

เขียนบรรณานุกรมในรูปแบบของ APA (American Psychological Association)

### 3.3 การอ้างอิง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ใช้รูปแบบการอ้างอิงของ APA (American Psychological Association)

#### 3.3.1 การอ้างอิงในเนื้อหาให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

(ชื่อ-นามสกุลผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, เลขหน้า)

##### ตัวอย่าง

(เกียรติศักดิ์ เจริญวงศ์ศักดิ์, 2546, 64)

#### 3.3.2 บรรณานุกรมท้ายบทให้ใช้รูปแบบ ดังนี้

##### (1) หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ**. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

##### ตัวอย่าง

Bolinger, Dwinght. (1977). **The Form of Language**. London: Longmans.

##### (2) บทความจากวารสาร

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. **ชื่อวารสาร**, ปีที่(ฉบับที่), เลขหน้าที่อ้างอิงถึง

##### ตัวอย่าง

Klimoski, R., & Palmer, S. (1993). The ADA and the hiring process in organizations. **Consulting Psychology Journal: Practice and Research**, 45(2), 10-36.

##### (3) วิทยานิพนธ์

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อวิทยานิพนธ์**. วิทยานิพนธ์ปริญมหาบัณฑิต, ชื่อมหาวิทยาลัย.

##### ตัวอย่าง

สรรพพงษ์ จันทเลิศ. (2546). **การสร้างเว็บไซต์ท่องเที่ยวของจังหวัดเชียงราย**. วิทยานิพนธ์ปริญมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

##### (4) เว็บไซต์

ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานเจ้าของเว็บไซต์. (ปีที่จัดทำ). **ชื่อเรื่อง**. สืบค้นเมื่อจาก URL.

##### ตัวอย่าง

ชวนะ ภวานันท์. (2548). **ธุรกิจสปาไทยน่าก้าวไกลไปกว่านี้**. สืบค้นเมื่อ 25 ธันวาคม 2548, จาก <http://www.buesnestgai.co.th/content.php?data=407720-opinion>

#### 4. ข้อพิจารณาทางด้านจริยธรรม

ผู้วิจัยต้องคำนึงหลักจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ เคารพในบุคคล (Respect to person) เช่น การขอคำยินยอม ความเป็นส่วนตัว การเก็บรักษาความลับ

#### 5. การส่งต้นฉบับ

ผู้เขียนส่งต้นฉบับพร้อมไฟล์ (Microsoft Word) และแบบฟอร์มเสนอแนะบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ไปที่ <http://www.learnings.in.th/scitech/> เพื่อทำการลงทะเบียนสมาชิกวารสารและดำเนินการส่งบทความเข้าฐานข้อมูลระบบออนไลน์ของวารสารซึ่งสามารถดาวน์โหลดคำแนะนำการได้ที่ <http://www.learnings.in.th/scitech/index.php/stj/about/submissions>