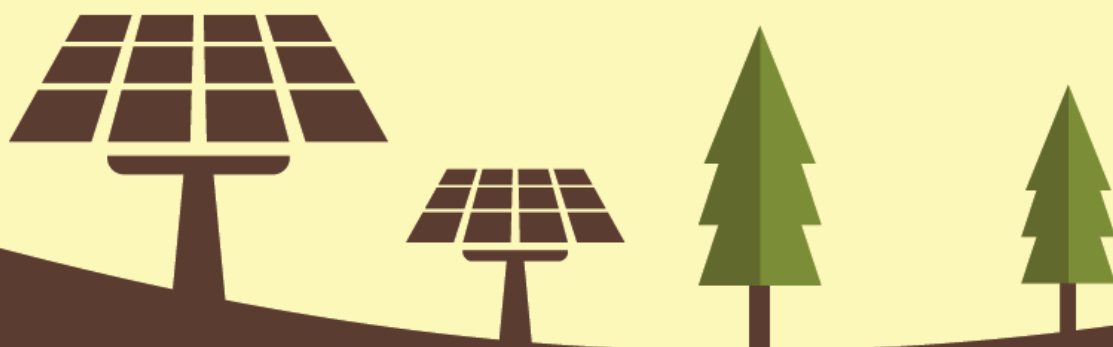




8TH SUSTAINABLE INDUSTRIAL INNOVATION and Management Conference 2019

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ปี 2562
ภายใต้งาน Eco Innovation Forum 2019 : Circular Economy
: Way to Smart and Sustainable Eco Industrial Town
ณ โรงแรม มิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพฯ

Eco Innovation Forum 2019



คำนิยม

ด้วยทิศทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของโลกในปัจจุบัน ทำให้ภาคอุตสาหกรรมนอกจากต้องมีความรู้ ความสามารถทางด้านวิศวกรรมแล้ว ความสามารถในการจัดการสิ่งแวดล้อม และการอยู่ร่วมกับชุมชน ยังเป็นสิ่งที่สำคัญ และจำเป็นของภาคอุตสาหกรรมมาก เนื่องจากการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันมุ่งเน้นไปที่การปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้สมดุลและยั่งยืน องค์กรธุรกิจทั้งในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการ สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตสินค้าและบริการให้ได้มาตรฐานตามหลักสากล และลดต้นทุนการผลิต รวมถึงลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติแต่ยังคงมีคุณภาพที่ดี อีกทั้งยังสามารถแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดระดับประเทศ ระดับภูมิภาค และระดับโลกได้

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ได้ตระหนักถึงภารกิจที่สำคัญนี้ จึงให้การสนับสนุนสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน เพื่อผลิตมหาบัณฑิตที่มีความรู้ความสามารถและคุณธรรม สามารถสร้างสรรค์ผลงานวิจัยและนวัตกรรมใหม่ อีกทั้งเป็นการบริการสังคมในด้านวิชาการ และเป็นที่ประจักษ์ถึงการเติบโตของสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน ทั้งในเชิงจำนวนมหาบัณฑิต จำนวนคณาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ และผลงานวิชาการที่มีคุณภาพ

ผมในฐานะคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ขอแสดงความยินดีกับสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน ที่ได้รับเกียรติร่วมเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 ภายในงาน Eco Innovation Forum 2019 ในวันที่ 24 กันยายน 2562 ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพมหานคร โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครกับสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) กระผมเชื่อมั่นเป็นอย่างยิ่งว่า การประชุมวิชาการในครั้งนี้ จะสร้างความร่วมมือระหว่างสถาบันการศึกษาภาคอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ ในการพัฒนาความรู้ นวัตกรรมและเทคโนโลยี เพื่อสร้างความเข้มแข็งอย่างยั่งยืนของประเทศ อีกทั้งส่งผลต่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยให้มีความก้าวหน้าต่อไป



(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คำนิยม

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน ได้จัดการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน (Sustainable Industrial Innovation and Management Conference) ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 ร่วมกับสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ อุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พร้อมทั้งจัดทำผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ (Proceedings) ฉบับนี้ ซึ่งเป็นการรวบรวมผลงานเชิงวิชาการเพื่อให้เป็นสื่อกลางและส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ต่างๆ ในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงบูรณาการทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยเน้นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในสถานการณ์ปัจจุบัน เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังแสดงถึงศักยภาพในการศึกษาและวิจัยของสถาบันต่างๆ ในประเทศอีกด้วย

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน มีความชื่นชมผลงานวิชาการที่เข้าร่วมการประชุมวิชาการในครั้งนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ (Proceedings) ฉบับนี้ จะเป็นองค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ร่วมการประชุม และผู้ที่สนใจทุกคน ในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยให้ยั่งยืนสืบไป



(นางสาวพรรัตน์ เพชรภักดี)

ผู้อำนวยการอาวุโส สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

คณะกรรมการจัดประชุมวิชาการ
การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน
“Sustainable Industrial Innovation and Management”
ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 วันที่ 24 กันยายน 2562
ณ โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น กรุงเทพมหานคร

ที่ปรึกษาโครงการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

- | | |
|--|-----------------|
| 1. รักษาการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร | ประธานที่ปรึกษา |
| รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์ | |
| 2. รองอธิการบดีฝ่ายบริหารและกิจการสภามหาวิทยาลัย | ที่ปรึกษา |
| ดร. พัทยา เห็นกลาง | |
| 3. รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ วิจัย และบริการวิชาการ | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฟื่องฟ้า เมฆเกรียงไกร | |
| 4. รองอธิการบดีฝ่ายวางแผนและกายภาพ | ที่ปรึกษา |
| นายภุชงค์ เจ็ดวรรณะ | |
| 5. รองอธิการบดีฝ่ายการคลังและทรัพย์สิน | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุใจ พรเจิมกุล | |
| 6. รองอธิการบดีฝ่ายกิจการนักศึกษาและศิษย์เก่า | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลักขณา จาตุกานนท์ | |
| 7. รองอธิการบดีฝ่ายนวัตกรรมและเทคโนโลยี | ที่ปรึกษา |
| ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ | |
| 8. ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| นางสาวรุ่งฤดี ตรงต่อศักดิ์ | |
| 9. ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญาภัทร กี่อารีโย | |
| 10. ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรรณวิมล นาคทัต | |
| 11. ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจทญา กิจเกิดแสง | |
| 12. ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิเชฐ จิระประเสริฐวงศ์ | |
| 13. ผู้ช่วยอธิการบดี | ที่ปรึกษา |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ สุกคณิง | |

คณะกรรมการอำนวยการจาก สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

- | | |
|---|-------------------------|
| 1. ประธานสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
นายสุพันธุ์ มงคลสุธี | ประธานดำเนินงาน |
| 2. ประธานคณะกรรมการสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
นายสมชาย หวังวัฒนพานิช | รองประธานดำเนินงาน |
| 3. รองประธานคณะกรรมการสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
นายเจริญชัย ประเทืองสุขศรี | กรรมการ |
| 4. คณะกรรมการสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
นายไพรัตน์ ตั้งคเสธรณี | กรรมการ |
| 5. คณะกรรมการสถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
นายธัญพัฒน์ มั่นนิชนันทน์ | กรรมการ |
| 6. ผู้อำนวยการอาวุโส สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
นางสาวพรรัตน์ เพชรภักดี | กรรมการ |
| 7. เจ้าหน้าที่อาวุโส สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน
นางสาววรรณัฐ การิกาญจน์ | กรรมการและ
เลขานุการ |

คณะกรรมการอำนวยการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

- | | |
|---|---------------|
| 1. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล | ประธานกรรมการ |
| 2. รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
เรืออากาศตรี ดร.พลกฤษณ์ จรรย์ตันติเวทย์ | กรรมการ |
| 3. รองคณบดีฝ่ายบริหาร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธนะ | กรรมการ |
| 4. รองคณบดีฝ่ายวางแผน
นายกร พวงนาค | กรรมการ |
| 5. รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษา
นายสุทธิพงษ์ ดำรงรัตน์ | กรรมการ |

คณะกรรมการดำเนินงาน

1. นายสุวัตรส แพ่งธีระสุขมัย
2. ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
3. ดร.ปริญญ์ บุญกนิษฐ
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์สัหรัตน์ วงษ์ศรีระ
5. ดร.สุวิทย์ แพงกันยา
6. ดร.เทอดพงษ์ แดงสี
7. ดร.สรสุธี บัวพูล
8. นายพุทธิพงศ์ เลพะชัยวรกุล

ประธานกรรมการดำเนินงาน
รองประธานกรรมการดำเนินงาน
กรรมการดำเนินงาน
กรรมการดำเนินงาน
กรรมการดำเนินงาน
กรรมการดำเนินงาน
เลขานุการ

รายชื่อคณะกรรมการพิจารณาบทความ

คณะกรรมการด้านวิชาการประเมินและพิจารณาบทความวิชาการ

1. **ดร.สำเริง เนตรภู**
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขารจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
2. **ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์สจ จุฬิสัยวงศ์กุล**
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต
3. **ดร.วิญญู ศักดาพร**
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
4. **ดร.รริศรา อัมภาประเสริฐ**
ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. **ดร.ปิติพัฒน์ บุตรโคตร**
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช (สไใหญ่)
6. **ดร.อาคม ปะหลามานิต**
สถาบันวิจัยระบบพลังงาน สำนักวิจัยและระบบพลังงาน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
7. **ดร.เทอดพงษ์ แดงสี**
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8. **ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล**
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9. **ดร.สุวิทย์ แพงกันยา**
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10. **ดร.ปริญญ์ บุญนิษฐ**
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
11. **ดร.สรสุธี บัวพูล**
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คำนำ

การจัดประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรม เพื่อความยั่งยืน (Sustainable Industrial Innovation and Management Conference) ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562 ภายในงาน Eco Innovation Forum 2019 โดยความร่วมมือระหว่าง สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.) และหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากการจัดประชุมวิชาการครั้งที่ 7 เมื่อปี 2561 ภายใต้ข้อตกลงความร่วมมือ “พัฒนาศักยภาพบุคลากรสมาชิกสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน” ระหว่าง สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยและ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ 8 นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีนำเสนอผลงานเชิงวิชาการ พร้อม กับส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ในด้านการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงบูรณาการ 3 ส่วน ประกอบด้วย ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม โดยนักวิจัยจากสถาบันการศึกษา ด้าน วิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ รวมถึงนักวิจัยจากภาคอุตสาหกรรมภายใต้องค์ความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ที่ทันสมัยสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

การนำเสนอผลงานวิจัยครอบคลุมด้านการจัดการองค์การเพื่อความยั่งยืน การเพิ่มประสิทธิภาพของ กระบวนการผลิต การจัดการสิ่งแวดล้อม การจัดการของเสีย การรีไซเคิลวัสดุเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การ พัฒนาผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การพัฒนาพลังงาน ทดแทนและนวัตกรรมจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน เป็นต้น การจัดประชุมวิชาการในครั้งนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าผู้เข้าร่วมประชุมจะได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ได้รับความรู้ใหม่ และการ พัฒนาเทคโนโลยีที่ทันสมัย พร้อมทั้งนำความรู้ไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม ทั้งการทำงานและการ ดำรงชีวิตที่ดีขึ้น เป็นบุคลากรสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศไทยให้ยั่งยืนต่อไป

คณะกรรมการดำเนินการจัดประชุมวิชาการ ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการพิจารณาบทความ ผู้สนับสนุน จากทุกภาคส่วน นักวิจัย ผู้นำเสนอบทความ และผู้เข้าร่วมประชุมวิชาการทุกท่าน มา ณ ที่นี้

สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (ส.อ.ท.)

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กันยายน 2562

กำหนดการ

ห้องย่อย 4 : วันอังคารที่ 24 กันยายน 2562 โรงแรมมิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น

- 08.00 - 08.45 น. ลงทะเบียน
- 08.45 - 09.00 น. พิธีเปิด กล่าวรายงานการการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562
โดย นายสุวัตร แพ่งธีระสุขมัย
หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 09.00 - 09.15 น. ประธานกล่าวเปิดการประชุมวิชาการ และนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562
โดย รองศาสตราจารย์สุภัทรา โกไศยกานนท์
รักษาราชการแทนอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
- 09.15 - 10.15 น. การบรรยายพิเศษ เรื่อง Eco factory กับการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
โดย ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การเสนอผลงานวิชาการ (Oral Presentation)

- 10.15 - 12.00 น. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ช่วงที่ 1
ควบคุมการบรรยาย โดย ดร.สรุทธิ์ บัวพูล
- 13.00 - 14.30 น. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ช่วงที่ 2
ควบคุมการบรรยาย โดย ดร.สุวิทย์ แวงกันยา
- 14.30 - 16.45 น. การนำเสนอผลงานทางวิชาการ ช่วงที่ 3
ควบคุมการบรรยาย โดย ดร.เทอดพงษ์ แดงสี

**คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิควบคุมการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรมและนำเสนอ
ผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 8 ประจำปี 2562**

- | | |
|------------------------|-----------------------------------|
| 1. ดร.สรสุธิ บัวพูล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| 2. ดร.สุวิทย์ แพงกันยา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |
| 3. ดร.เทอดพงษ์ แดงสี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร |

กำหนดการเสนอผลงานวิชาการภาคบรรยาย (Oral Presentation)

วันอังคารที่ 24 กันยายน 2562

เวลา 10.30-17.15 น.

Meeting Room: 4

ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
ภาคเช้า				
1	10.30-10.45	Energy Reduction in Normal Paraffin Distillation by Using Pinch Analysis	Julaluk Hongpant Jaranya Tantiworathaworn Tanit Bhibhatbhan	Faculty of Engineering, Thammasat University
2	10.45-11.00	การปรับปรุงระบบการให้ความร้อนของยางมะตอย ด้วยการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสีย	โปรดปราน สิริธีรศาสน์ ณัฐรัตน์ ใฝ่งาม วชิรพรรณ นาคดิลก	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
3	11.00-11.15	Optimization of Hydrogen Production from Different Biomass Feedstocks Using Gasification Process	Jarupa Surachaidungtavil Nisachon Sakwanichon Tanit Bhibhatbhan	Faculty of Engineering, Thammasat University
4	11.15-11.30	เทคโนโลยีสะอาดสำหรับการลดของเสียในกระบวนการผลิตเบหมีกิ่งสำเร็จรูป	มณีนรัตน์ นกยูงทอง พรทิพย์ ศรีแดง	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
5	11.30-11.45	การประเมินความดันออกแบบของถังแก๊สสูงตมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	ประศาลน์ บุญเพชร พงษ์ศักดิ์ ตันวีระชัยสกุล นันทน์นิชา ม่วงทอง ศิวะ สิทธิพงศ์ สิทธิพงษ์ โลวีรกรณ์	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
6	11.45-12.00	การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดปทุมธานี	เดชพล จิตรวัฒน์กุลศิริ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
ภาคบ่าย				
7	13.00-13.15	การศึกษาแนวทางการบริหารคุณภาพการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ด้วยหลักการ 4M กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด	ปฏิการ โยชน์ไชยสาร ปริญญ์ บุญกนิษฐ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8	13.15-13.30	การออกแบบระบบศูนย์ข้อมูลสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำ	สรณัท วงศ์สัมพันธ์ อาทิตย์ โสตรโยม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
9	13.30-13.45	การกู้คืนหมายเลขทะเบียนปิ่นบนโลหะ AISI 1015 เพื่อจำแนกผล การ กู้ คืบ ด้วย เท ค นิ ค การ ประมวลผลภาพ	เกล็ดนที เวปุลานนท์ ภาวิตา น้ำใจสุข ณัฐธิดา ปานขาน กาญจนา รัตนพันธ์ นฤเบศร์ ว่องปัญจเลิศ สกล จันทร์ขจร	คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาเขต หาดใหญ่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
10	13.45-14.00	การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปิ่นเขาและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับปัญหาพนักงานขาย ในคลังสินค้าบนไมโครซอฟท์เอกซ์เซล	จิราพร สกุลวรารักษ์ คณศ พันธ์สุวาสดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
11	14.00-14.15	การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งกรณีศึกษา โรงงานผลิตชุดสายไฟรถยนต์	ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์ เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร ฤทธิชัย สังฆทิพย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
12	14.15-14.30	การออกแบบระบบดับเพลิงในอาคารศูนย์ข้อมูลด้วยสารสะอาด	ทวิทย์ บุญทริกศิริ เลิศเลขา ศรีรัตน์ะ กฤษฎดา พิศลยบุตร สิริวัลภ์ เรืองช่วย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
13	14.30-14.45	การประยุกต์ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลเพื่อกำหนดระยะทางของคลังสินค้า	ตฤณ ปฐมนิธิภิญโญ คณศ พันธ์สุวาสดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์และ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
14	14.45-15.00	การปรับปรุงกระบวนการไวร์บอนดิ่ง ของ การ ผลิต วง จ ร ร ว มกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตวงจรรวมประเทศไทย	อภิรัตน์ มีมุข ปริญญ์ บุญกนิษฐ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ลำดับ	เวลา (น.)	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
15	15.00-15.15	การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นซับน้ำจากวัสดุทดแทนและสร้างระบบควบคุมความเย็นทางไกลอัตโนมัติด้วยอาร์ดูโนในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่อารมณ์ดี	ปิยลาภ มานะกิจ ชมณภัทร หัตถกรรม เสกสิทธิ์ รัตนสิริวัฒนกุล โกเมน หมายมัน	คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
16	15.15-15.30	การพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทิ้ง	มัทนา สันทสนะโชค	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
17	15.30-15.45	การลดของเสียในกระบวนการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มข้อสายไฟฟ้า	มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ สุขุม โฆษิตชัยมงคล	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
18	15.45-16.00	การปรับปรุงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่น	สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว ปริญญา บุญนิษฐ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
19	16.00-16.15	ผลของความเร็วอากาศและขนาดชีวมวลที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล	โชติวิธน์ ศุภรัตนกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
20	16.15-16.30	การปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโภคเพื่อลดความเมื่อยล้าของระบบกล้ามเนื้อ	จตุพร แสงตุ้ จเร เลิศสุตวิชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
21	16.30-16.45	การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบโตโยต้าเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร	วุฒิพงษ์ ปะวะสาร	สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
22	16.45-17.00	การลดการใช้น้ำด้วยวิธีประเมิณวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ กรณีศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	สีหศักดิ์ ถ้าทอง ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล และประภาพร พลอยยอด	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
23	17.00-17.15	การเปรียบเทียบความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและประเทศเวียดนาม	วัชรพงษ์ พนิธอ์ารง ธนต์ถันนัท สุขโขคนิธิ โกคิน ภัทรารัช แก้วพลายงาม	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประเภทบทความรับเชิญ

ลำดับ	ชื่อบทความ	ชื่อเจ้าของผลงาน	หน่วยงาน
24	เทคโนโลยีการรีดผ้าในกระบวนการรีด เหล็กเส้น	ดร.สำเริง เนตรภู	ผู้จัดการโรงงาน บริษัท เอส.เอส.เค.เอ็นจิเนียริง จำกัด หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรม หาบัณฑิตสาขาจัดการ งานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
Energy Reduction in Normal Paraffin Distillation by Using Pinch Analysis Julaluk Hongpant, Jaranya Tantiworathaworn and Tanit Bhibhatbhan	1
การปรับปรุงระบบการให้ความร้อนของยางมะตอย ด้วยการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสีย โปรดปราน สิริธีรศาสน์, ณัฐรัตน์ ไผ่งาม และวชิรพรรณ นาคดิลก	8
Optimization of Hydrogen Production from Different Biomass Feedstocks Using Gasification Process Jarupa Surachaidungtavil, Nisachon Sakwanichon and Tanit Bhibhatbhan	14
เทคโนโลยีสะอาดสำหรับการลดของเสียในกระบวนการผลิตเบหมีกิ่งสำเร็จรูป มณีนรัตน์ นกยูงทอง และ พรทิพย์ ศรีแดง	21
การประเมินความดันออกแบบของถังแก๊สหุงต้มด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประศาลน์ บุญเพชร, พงษ์ศักดิ์ ต้นวีระชัยสกุล, นันทินชา ม่วงทอง, ศิวะ สิทธิพงศ์ และสิทธิพงษ์ โลวีรกรรม	29
การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนโดยใช้แบบจำลอง ภูมิอากาศระดับภูมิภาค กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดปทุมธานี เดชพล จิตวัฒณ์กุลศิริ	33
การศึกษาแนวทางการบริหารคุณภาพการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ด้วยหลักการ 4M กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด ปฏิการ โยชนไยสาร และ ปริญญ์ บุญกนิษฐ	39
การออกแบบระบบศูนย์ข้อมูลสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำ สรณ์ท วงศ์สัมพันธ์ และ อาทิตย์ ไสตรโยม	49
การกู้คืนหมายเลขทะเบียนปืนบนโลหะ AISI 1015 เพื่อจำแนกผลการกู้คืนด้วยเทคนิคการ ประมวลผลภาพ เกล็ดนที เวบูลานนท์, ภาวิตา น้ำใจสุข, ณัฐธิดา ปานขาน, กาญจนา รัตนพันธ์, นฤเบศร์ ว่องปัญญเลิศ และ สกล จันทร์ขจร	55

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการป็นเขาและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับปัญหาพนักงานขาย ในคลังสินค้าบนไมโครซอฟท์เอกซ์เซล จิราพร สกุลวรารักษ์ และ คณศ พันธ์สุวาสดี	63
การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง กรณีศึกษา โรงงานผลิตชุดสายไฟรถยนต์ ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์, เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร และ ฤทธิชัย สังขทิพย์	71
การออกแบบระบบดับเพลิงในอาคารศูนย์ข้อมูลด้วยสารสะอาด ทวีทย์ บุญทริกศิริ, เลิศเลขา ศรีรัตนะ, ฤชดา พิศลยบุตร และสิริวัลภ์ เรืองช่วย ตูประกาย	77
การประยุกต์ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลเพื่อกำหนดระยะทางของคลังสินค้า ตฤณ ปฐมนิธิภิญโญ และ คณศ พันธ์สุวาสดี	85
การปรับปรุงกระบวนการไวร์บอนด์ของการผลิตวงจรรวม กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตวงจรรวม ประเทศไทย อภิรัตน์ มีมุขอ และปริญญา บุญกนิษฐ	93
การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นซับน้ำจากวัสดุทดแทนและสร้างระบบควบคุมความเย็นทางไกล อัตโนมัติด้วยอาร์ดูโนในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่อารมณ์ดี ปิยลาภ มานะกิจ, ชมณภัทร หัตถกรรม, เสกสิทธิ์ รัตนศิริวัฒนกุล และ โกเมน หมายมัน	99
การพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขาน้อยเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทิ้ง มัทนา สันตสนะโชค	106
การลดของเสียในกระบวนการผลิตปลอกพีวีซีหุ้มขั้วสายไฟฟ้า มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และ สุขุม โฆษิตชัยมงคล	112
การปรับปรุงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่น สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว และ ปริญญา บุญกนิษฐ	120
ผลของความเร็วอากาศและขนาดชีวมวลที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล โชติวัฒน์ ศุภรัตนกุล	128

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การลดการใช้น้ำด้วยวิธีประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ กรณีศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร สีหศักดิ์ ถ้ำทอง, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล และประภาพร พลอยยอด	133
การปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโศคเพื่อลดความเมื่อยล้าของระบบกล้ามเนื้อ จตุพร แสงตุ้ และ จเร เลิศสุตวิชัย	138
การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบโตโยต้าเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร วุฒิพงษ์ ปะวะสาร	145
การเปรียบเทียบความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของ ประเทศไทยและประเทศเวียดนาม วัชรพงษ์ พนิตอำรง, ธนัตถ์นันท์ สุขโขคนิธิโกติน และภัทรารักษ์ แก้วพลายงาม	150
เทคโนโลยีการรีดผ้าในกระบวนการรีดเหล็กเส้น สำเร็จ เนตรภู	157

Energy Reduction in Normal Paraffin Distillation by Using Pinch Analysis

Julaluk Hongpant, Jaranya Tantiworathaworn, Tanit Bhibhatbhan*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University

99 moo 18 Pahonyotin road, Klong Nueng, Klong Luang, Patumtani 12120

*Email: btanit@engr.tu.ac.th

Abstract

Distillation is a common separation process for mass production. There is a study on energy consumption of light ends stream from crude distillation, including normal paraffin with four components from n-butane to n-heptane separated for the specific purities. Since energy consumption is one of the major challenges for industries, researchers have been trying to reduce it. In the existing plant, normal paraffin is separated by conventional distillation, sequence Direct-Indirect and it is suggested to be replaced by thermally coupled distillation (a,b and c) derived from conventional distillation sequence Direct-Indirect, then the reduced energy consumption can be obtained. Therefore, this research aims to find other possible configurations that have lower energy consumption than the suggested configurations. They were investigated by simulating on Aspen HYSYS V9, consisting the less than n-1 column configurations derived from a, b and c and thermally coupled distillation and less than n-1 column configuration derived from each sequence of conventional distillation for four components (Direct, Indirect, Indirect-Direct and Symmetrical). Pinch analysis was performed on all of the rigorous simulations. The results show that the thermally coupled distillation sequence d2 derived from conventional distillation sequence Direct by eliminating the reboiler of the second column consumed the least energy with doing pinch analysis (d2+pinch) accounted for 28.57 %, while the suggested configurations did for 14-20% compared to the existing plant's configuration. In conclusion the sequence d2+pinch should replace the existing one instead of the suggested ones. By reserving same heat exchangers, sizes are minimized and the new one is also added.

Keywords: Energy saving; Normal paraffin distillation; Pinch analysis; Thermally coupled distillation; Less than n-1 column configuration

1. Introduction

Distillation is a well-known process in chemical processing plant. There are many types of distillation, one of them is conventional distillation which is commonly used in petrochemical plant, including consecutive columns. Number of conventional distillation sequences (N_s) depend on number of desired product, which can be calculated by the following formula. [1]

$$N_s = \frac{[2(P-1)]!}{P!(P-1)!} \quad (1)$$

Besides from environmental issue, high energy consumption also being consider one of the major problem that try to reduce [2]. Therefore, thermally coupled distillation is introduced to reduce energy consumption in conventional distillation. Non-product vapour-liquid streams withdraw between columns, in sequences condensers and/or reboilers are removed. Number of sequences of thermally coupled distillation (P_n) can be obtained by the following formula [3]:

$$P_n = \frac{[2(N-1)]!}{N!(N-1)!} \left[\sum_{j=1}^{N-3} \frac{(N-2)!}{j!(N-2-j)!} + 1 \right] \quad (2)$$

By knowing N is a number of desired products. Less than $n-1$ column configurations can reduce energy consumption more than thermally coupled distillation. Eventually the result solution derived from thermally coupled configurations with some columns removed. These configurations are created, starting from the thermodynamically equivalent configurations, where a column section associated to a condenser and/or a reboiler that provides the common reflux flow rate or the vapor boil up between two consecutive columns can be moving [3]. Then, less than $n-1$ column configurations can be generated by eliminating the remaining single-section column

from moving the rectifying or the stripping section in thermodynamically equivalent configuration and replacing that single-section column by side stream withdrawing. Number of those configurations of each sequence (NIS) can be predicted by the following formula [3]:

$$NIS = 2^{NS} - 1 \quad (3)$$

Where NS is the number of single-section columns in the thermodynamically equivalent configuration. It is studied on existing plant of a light ends stream from a crude oil distillation [4]. The feed of normal paraffin, including four components from n -butane to n -heptane are separated in three simple columns known as sequence Direct-Indirect with desired products' purities 85%mol for n -butane and n -pentane, 89%mol for n -hexane and 98%mol for n -heptane. Direct-Indirect was simulated and two sequences (b and c) of thermally coupled distillation derived from it, was suggested to replace the existing configuration for less energy consumption [4].

All configurations of conventional distillation, thermally coupled distillation and less than $n-1$ column for four components are shown in Fig. 1.

It is believed that there are other sequences or configurations that may consume energy less than the ones suggested in earlier research and also can be further reduced by pinch technology, introduced by Linhoff and Hindmarsh [1, pp. 306-318]. In industry, the external source is being used to exchange heat between streams in the process. By taking an advantage of pinch analysis, the cost of using external sources can be reduced, since the heat able to exchange in between heat and cold stream. Therefore, this paper aims to find the optimized configuration that consumes the least energy but still meet desired products' purities of the case study by simulating on Aspen HYSYS V9.

To keep using the same heat exchangers in the existing plant, heat exchangers must be

modified by minimizing/ maximizing area of heat transfer to be suitable for new configuration. A required area of heat exchangers can be calculated [4]:

$$A = \frac{3600Q_c/r}{U_d \Delta T_{LM}} \quad (4)$$

2. Research Methodology

The case study was adopted from [4] as shown in Table 1. There are two main procedures, following by:

2.1. Verification

Design and operational parameters of conventional distillation and thermally coupled distillation are extracted from the research [4] as shown in Table 2 and Table 3 to obtained equal or close to energy consumption from that research.

Table 1 Data for case study

Component	Flow rate (kmol/h)	Physical characteristic
C ₄ (n-butane)	280	Temperature (°C) 128 Pressure (atm) 5
C ₅ (n-pentane)	300	
C ₆ (n-hexane)	140	
C ₇ (n-heptane)	530	

Table 2 Design and operational parameter of conventional distillation

Parameter	Column 1	Column 2	Column 3
D (kmol/h)	280.20	443.70	298.22
B (kmol/h)	969.80	526.10	145.48
P _T (kPa)	506.62	506.62	506.62
P _B (kPa)	518.34	521.92	525.92
T _T (°C)	54.92	94.75	82.5
T _B (°C)	122.62	165.6	134.29

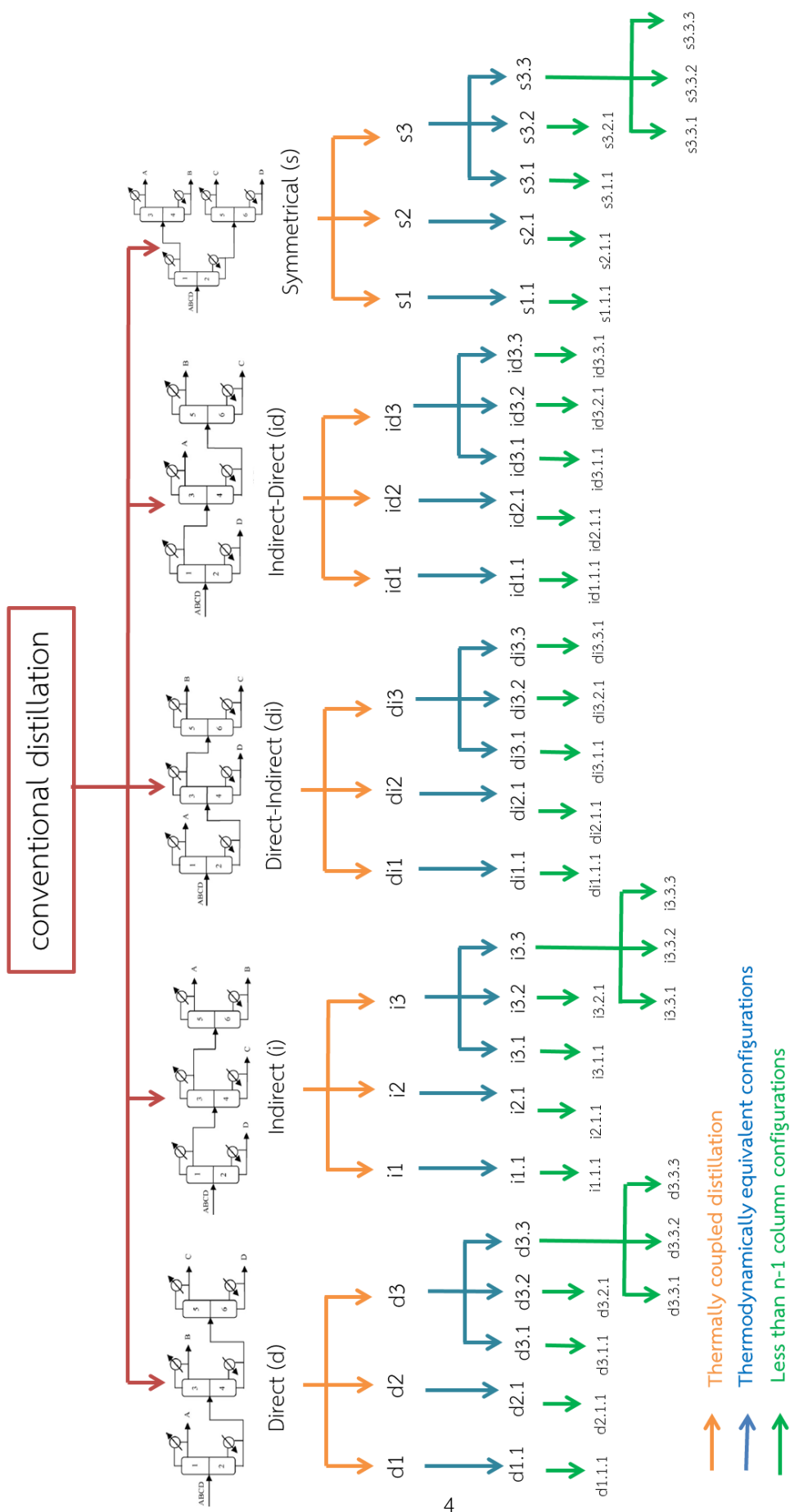
d (m)	2.44	3.22	2.01
RR	3.84	1.37	1.26
N _T	28	42	34
N _F	17	21	16

Table 3 Interconnecting thermal coupling flow rates for thermally coupled distillation

Configuration	Between column 1&2 L/V (kmol/h)	Between column 2&3 L/V (kmol/h)
a	1125/155	-
b	-	549/994
c	1125/155	550/994

2.2. Rigorous simulation

Firstly, the less than n-1 column configurations derived from thermally coupled distillation a, b and c were simulated. Secondly, other conventional distillation sequences, including Direct, Indirect, Indirect-Direct and Symmetrical [3] were performed with design and operational parameters of existing plant as shown in Table 2. Then, thermally coupled distillation and less than n-1 configurations [3] derived from each of them have been simulated. All of these simulations were performed with pinch analysis.



3. Results and Discussion

The verifications were successfully carried-out with the following energy consumption as shown in Fig. 2

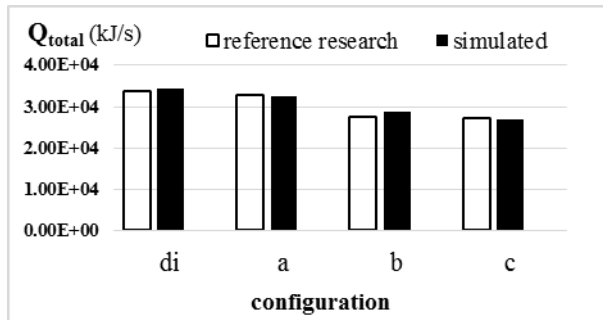


Fig. 2 Energy consumption comparison between reference research and simulation

From Fig. 2, simulated configurations gave approached number of energy consumption to reference research's [4], percentage of difference are 1.54%, 1.26%, 4.08% and 1.93%, respectively. It is assured that the following rigorous simulation has been carried out accurately with these same steps.

For less than n-1 column configurations derived from conventional one sequence Direct-Indirect, there are only three out of seven configurations that gave the desired products' purities but the energy consumption is extremely high compared to the existing plant and the suggested ones.

It showed that simulation of other possible sequences of conventional distillation, only sequence Direct is converged with parameters operated in existing plant. After performing thermally coupled distillation and less than n-1 configurations derived Direct, thermally coupled distillation sequence d2 with pinch analysis consumed less energy than it did in the existing and the suggested ones. A comparison between conventional distillation sequence Direct-Indirect

and thermally coupled distillation sequence d2 are shown in Fig. 3.

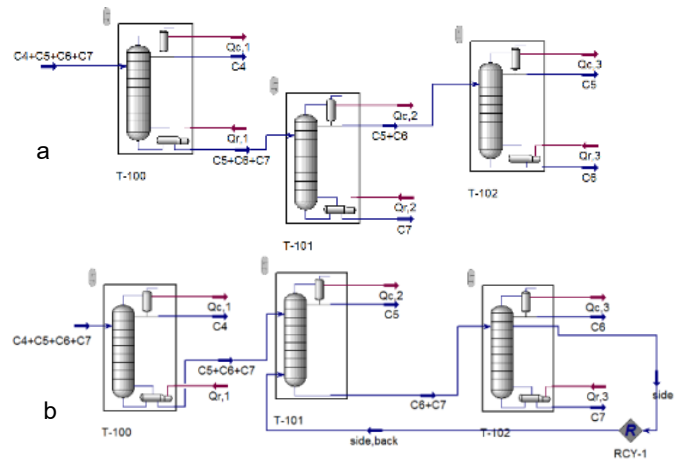


Fig. 3 (a) Direct-Indirect (existing) and (b) d2

Mechanism of energy reduction of sequence d2 can be explained by side withdrawing from column 3 to replace reboiler of column 2, decreases vapor flow rate in the column, such that cooling duty of column 3 is decreased. Further energy reduction by pinch analysis can be achieved only if there is a hot stream that has higher temperature than a cold one. In sequence d2, there are only one matching pair of streams which are the one that flows in reboiler of column 1 and the other one flows in condenser of column 3.

To transform the same heat exchangers to be suitable for thermally coupled distillation d2 with pinch analysis, they should be adapted by minimizing sizes shown in Table 4.

Table 4 Comparison between existing and thermally coupled sequence d2 area of heat exchangers

Heat exchanger	Existing plant (m^2)	Thermally coupled sequence d2 + pinch (m^2)
Condenser 1	662.7	659.1
Condenser 2	233.5	194.4
Condenser 3	164.3	62.4 → 32.30
Reboiler 1	100.5	49.8 → 0.51
Reboiler 2	799.0	-
Reboiler 3	386.8	188.7

After doing pinch analysis, condenser at column 3 and reboiler at column 1 are replaced with $166.2 m^2$ heat exchanger, the $32.3 m^2$ cooler and the $0.51 m^2$ heater are also added, respectively.

4. Conclusion and Recommendations

The rigorous simulations for four components distillation have been successfully performed. It is shown that the thermally coupled distillation sequence d2 has the least energy consumption and desired products' purities obtained. By using pinch analysis, energy can be further reduced by transferring heat in condenser column 3 to reboiler at column 1 for $1546.38 kJ/s$ and the rest of energy requirement comes from external sources as shown in Fig. 4 [1]. Therefore, thermally coupled distillation sequence d2 with pinch analysis consuming energy for $24108.33 kJ/s$, and heat exchangers design in Table 4 are suggested to replace the existing process instead of the suggested ones in [4] to meet the optimized normal paraffin distillation.

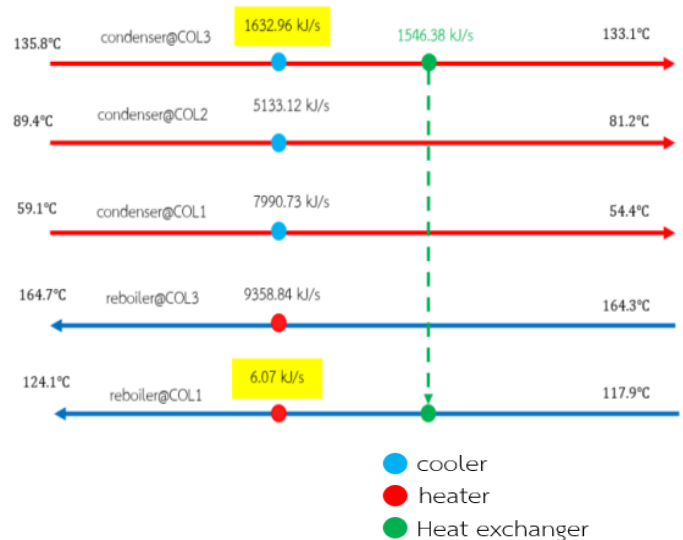


Fig. 4. Grid diagram for thermally coupled distillation sequence d2

5. Nomenclature

- D = distillate flow rate (kmol/h)
- B = Bottom flow rate (kmol/h)
- P_T = top pressure (kPa)
- P_B = bottom pressure (kPa)
- T_T = top temperature ($^{\circ}C$)
- T_B = bottom temperature ($^{\circ}C$)
- d = distillation column diameter (m)
- RR = reflux ratio
- N_T = total number of stages
- N_F = feed stage
- U_d = average exchange coefficient ($kJ/(m^2 h ^{\circ}C)$)
- ΔT_{LM} = logarithmic mean temperature difference
- $Q_{c/r}$ = condenser/reboiler duty (kJ/h)

6. Acknowledgements

Sincere gratitude to Department of Chemical Engineer, Faculty of Engineering, Thammasat University for the kindness setting up the Aspen HYSYS program V9 for this research.

7. References

- [1] W. D. Seider, J. D. Seader and D. R. Lewin. (2004). Product&Process Design Principles 2th edition, John Wiley and Sons, Inc.
- [2] M. Z. Shahrudin, A. N. Rahimi, M. A. Zubir, M.

- F. I. Zahran, K. A. Ibrahim and M. K. A. Hamid. (2017). Energy Integrated Distillation Column Sequence by Driving Force Method and Pinch Analysis. The 8th International Conference on Applied Energy - ICAE2016, pp. 3895-3901.
- [3] M. Errico, B.-G. Rong, G. Tola and I. Turunen. (2009). A method for systematic synthesis of multicomponent distillation systems with less than N-1 columns. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, vol. 48, pp. 907-920, 2009.
- [4] M. Errico, B.-G. Rong, G. Tola and I. Turunen. (2008). Process intensification for the retrofit of a multicomponent distillation plant - an industrial case study," Industrial & Engineering Chemistry Research, vol. 47, pp. 1975-1980.
- [5] Dr. Semih Eser. Light Ends Unit. Retrieved January 25, 2019 , from PennState College of Earth and Mineral Sciences Website: <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/content/light-ends-unit>

**การปรับปรุงระบบการให้ความร้อนของยางมะตอย
ด้วยการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสีย
Retrofit of the Asphalt Heating System using
Waste Heat from Flue Gas**

โปรดปราน สิริธีรศาสตร์*, ณัฐรัตน์ ไผ่งาม, และวชิรพรรณ นาคติกล

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

*sprod@tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ทั้งทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุงระบบการให้ความร้อนของยางมะตอยโดยการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนจำนวน 4 เครื่อง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ผลการวิจัยพบว่าการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนนำไปสู่การประหยัดน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงที่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนทั้ง 4 เครื่อง ในช่วงประมาณ 690,000-1,820,000 บาทต่อปี และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าการนำก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนมีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้ง 4 เครื่อง โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ในช่วงประมาณ 9,100,000-24,700,000 บาท มีอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) ในช่วงร้อยละ 139-363 ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (ร้อยละ 6.25-6.87) และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) ในช่วงประมาณ 4-9 เดือน ซึ่งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุโครงการ (15 ปี)

คำสำคัญ (Key word): ระบบการให้ความร้อนของยางมะตอย; ความร้อนเหลือทิ้ง; ก๊าซไอเสีย; การวิเคราะห์เชิงเทคนิค; การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

Abstract

The objective of this research was to assess the feasibility of the retrofit of the asphalt heating system by installing the shell and tube heat exchangers for utilising waste heat from flue gas for pre-heating air entering the burners of the hot-oil boilers (No. 1 to No. 4). It was found that the retrofit was technically and economically feasible. The consumption of diesel oil used in all 4 burners could be reduced by ~690,000-1,820,000 Baht *per* year. The net present values (NPV) for the installation of the shell and tube heat exchangers for pre-heating air entering the burners of the hot-oil boilers were found to be between 9,100,000 and 24,700,000 Baht *per* year. The internal rates of return (IRR) were within the range of 139-363%, which were higher than the current lending rate (6.25-6.87%). The payback periods (PB) were found to be approximately 4-9 months, which were much shorter than a half of the project lifetime (15 years).

Key word: Asphalt heating system; Waste heat; Flue gas; Technical analysis; Economic evaluation

1. บทนำ (Introduction)

ยางมะตอย (Asphalt หรือ Bitumen) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืดหรือกึ่งของแข็งสีดำหรือสีน้ำตาลแก่แกมดำ และมีความยืดหยุ่นสูง [1]

เนื่องจากยางมะตอยมีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการ เช่น มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดี มีความสามารถในการป้องกันน้ำซึมผ่าน และมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่หลากหลาย เป็นต้น [1] จึงทำให้มีการใช้ประโยชน์จากยางมะตอยอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในส่วนของ การก่อสร้างถนนหรือการปูพื้นผิวต่างๆ [1]

ทั้งนี้ ยางมะตอยที่จะนำมาใช้งานได้ต้องอยู่ในสภาพของเหลว ทำให้ต้องผ่านกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งต้องใช้พลังงานเป็นอย่างมาก จากการศึกษากระบวนการให้ความร้อนของยางมะตอยในโรงงานผลิตยางมะตอยแห่งหนึ่งพบว่าต้องมีการหลอมยางมะตอยให้อยู่ในสภาพกึ่งของเหลวตลอดเวลา เพื่อความสะดวกต่อการถ่ายเทในการขนส่งเพื่อนำมาใช้งานในการสร้างถนน ทั้งนี้ โรงงานดังกล่าวให้ความร้อนแกยางมะตอยโดยใช้น้ำมันร้อน (Hot oil) เป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งน้ำมันร้อนดังกล่าวได้รับความร้อนจากหม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot-oil boiler) ที่มีหัวเผา (Burner) ที่ใช้น้ำมันดีเซล (Diesel oil) เป็นเชื้อเพลิง จากการสำรวจพบว่า โรงงานดังกล่าวใช้หัวเผาทั้งหมด 4 หัวเผา และจากการศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งการสำรวจโรงงานเพื่อเก็บข้อมูลพบว่าหนึ่งในวิธีที่ควรนำมาใช้เพื่อลดปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลที่เผาไหม้ที่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนคือการปรับปรุงระบบการให้ความร้อนแกยางมะตอยโดยการนำความร้อนเหลือทิ้ง (Waste heat) จากก๊าซไอเสีย (Flue gas) ซึ่งยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ มาแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เพื่อทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะไปผสมกับเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่หัวเผา ซึ่งจะนำไปสู่การประหยัดเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนแกยางมะตอยลงได้

ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการปรับปรุงระบบการให้ความร้อนของยางมะตอยโดยการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube heat exchanger) ทั้งในเชิงเทคนิค โดยทำการคำนวณปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลที่ลดลงอันเนื่องมาจากการนำความร้อนเหลือทิ้งมาให้ความร้อนแกอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน และเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ อันได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV)

อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB)

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1) วัดอุณหภูมิที่ขาเข้าและขาออกของอากาศในแต่ละหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน (เครื่องที่ 1-4) และวัดอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (Flue gas) ที่ได้จากการเผาไหม้ในแต่ละหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน โดยใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ Testo รุ่น 330-2LX

2) ออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube heat exchanger) ระหว่างก๊าซไอเสีย (Flue gas) กับอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผา โดยมีแนวทางและข้อกำหนดในการออกแบบ ดังนี้

- (1) ให้ก๊าซไอเสียอยู่ในท่อ (Tube)
- (2) ให้อากาศอยู่ในเปลือก (Shell)
- (3) วัสดุที่ใช้ทำเปลือกและท่อ คือ Carbon steel
- (4) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ เท่ากับ 1 นิ้ว
- (5) ความยาวของท่อ เท่ากับ 8 ฟุต
- (6) ระยะห่างระหว่างท่อ (Tube pitch) เท่ากับ 1.25 นิ้ว และมีการจัดเรียงตัวแบบสี่เหลี่ยม (Square pitch)
- (7) จำนวนอุณหภูมิที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ทั้ง 4 สาย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- สายร้อนขาเข้า คือ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียจากปล่องไอเสีย (Flue gas stack)
- สายร้อนขาออก คือ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียหลังการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ
- สายเย็นขาเข้า คือ อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- สายเย็นขาออก คือ อุณหภูมิของอากาศหลังการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอเสีย

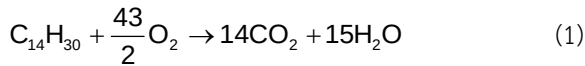
- (8) จำนวนพื้นที่ของการแลกเปลี่ยนความร้อน ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของท่อที่ได้กำหนดไว้ในข้อ (4) และ (5)

3) คำนวณปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมันดีเซลในแต่ละหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนในภาวะปกติหรือในภาวะที่ไม่มีการให้ความร้อนแกอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผา (Q_{before}) โดยกำหนดให้

- (1) น้ำมันดีเซลมีสูตรเคมี (เฉลี่ย) เป็น $C_{14}H_{30}$ และมีมวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 198 g/mol [2]
- (2) ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล (LHV_{diesel}) มีค่า

เท่ากับ 42.6 MJ/kg (จากผลการวิเคราะห์ค่า
ความร้อนของปฏิกิริยาที่ขายน้ำมันดีเซลให้กับ
โรงงานผลิตยางมะตอย)

(3) สมการเคมีคือ



(ตั้งสมมติฐานว่าการเผาไหม้สมบูรณ์)

(4) อากาศที่ใช้สำหรับการคำนวณการเผาไหม้ของ
น้ำมันดีเซลมีองค์ประกอบคือ ก๊าซออกซิเจน
(O_2) ร้อยละ 21 และก๊าซไนโตรเจน (N_2) ร้อยละ
79

(5) ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมัน
ดีเซลในแต่ละหัวเผา (Q) คำนวณจากสมการที่

(2) ดังนี้

$$Q = \sum \left(\frac{n_i}{v_i} \Delta H_r^\circ \right) + \sum_{\text{output}} (n_j h_j) - \sum_{\text{input}} (n_j h_j) \quad (2)$$

โดยที่

- ΔH_r° = Heat of reaction ของปฏิกิริยา
ตามสมการที่ (1) [kJ/mol]
- n_i = อัตราการไหลเชิงโมลของน้ำมันดีเซล
($C_{14}H_{30}$) [mol/h]
- v_i = สัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของน้ำมัน
ดีเซลในสมการที่ (1)
- n_j = อัตราการไหลเชิงโมลของสารต่างๆ ที่
เข้าและออกจากหัวเผา [mol/h]
[ซึ่งได้จากการทำสมดุลมวลสารตามสมการที่
(1)]
- h_j = ค่า Specific enthalpy ของสารต่างๆ
ที่เข้าและออกจากหัวเผาที่อุณหภูมิต่างๆ
[kJ/mol]

4) คำนวณปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้น้ำมัน
ดีเซลเมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับก๊าซ
ไอเสีย (Q_{after}) ซึ่งทำให้อากาศที่เข้าสู่หัวเผามีอุณหภูมิ
สูงขึ้น โดยใช้สมการที่ (2)

5) คำนวณปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้น (Q_{increase})
เมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับก๊าซไอเสีย
โดยใช้สมการที่ (3)

$$Q_{\text{increase}} = Q_{\text{after}} - Q_{\text{before}} \quad (3)$$

6) คำนวณร้อยละของน้ำมันดีเซลที่ลดลง (%Diesel
savings) โดยใช้สมการที่ (4)

$$\% \text{Diesel savings} = \frac{\frac{Q_{\text{increase}}}{LHV_{\text{diesel}}}}{\text{Diesel flow rate}} \times 100 \quad (4)$$

7) คำนวณค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ประหยัดได้
(Cost of diesel savings) โดยใช้สมการที่ (5)

$$\text{Cost of diesel savings} = \frac{\% \text{Diesel savings}}{100} \times \text{Diesel flow rate} \times \frac{\text{Hours}}{\text{year}} \times \text{Price of diesel} \quad (5)$$

โดยที่

- $\frac{\text{Hours}}{\text{year}}$ = จำนวนชั่วโมงของการใช้งานหัวเผา
ต่อปี ซึ่งเท่ากับ $365 \times 24 = 8,760$ ชั่วโมง/ปี
- Price of diesel = ราคาของดีเซล ซึ่งกำหนด
ไว้ที่ 23 Baht/L (เป็นราคาซื้อขายภายใน)

8) คำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value:
NPV) ซึ่งคือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงิน
สดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน
เริ่มแรก โดยใช้อัตราส่วนคิดลด (Discount rate: i) มาปรับ
มูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีให้มาอยู่ ณ ค่า
ปัจจุบัน (Present value: PV) โดยใช้สมการที่ (6) [3]

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - C_0 \quad (6)$$

โดยที่

- B_t = รายได้ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (หรือเดินระบบ)
และค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_0 = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก
- i = อัตราส่วนคิดลด (Discount rate) หรืออัตรา
เงินเฟ้อ
- t = ปีของการดำเนินงานโครงการ (ปีที่ 1, 2,
3, ..., n)
- n = อายุของโครงการ

9) คำนวณอัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal rate of
return: IRR) หรือค่า r ซึ่งเป็นอัตราผลตอบแทนที่ทำให้

ผลตอบแทนสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก [3] นั่นคือคำนวณหาค่า r ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ (0) หรือ

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - C_0 = 0 \quad (7)$$

โดยที่

- B_t = รายได้ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (หรือเดินระบบ) และค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_0 = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก
- t = ปีของการดำเนินงานโครงการ (ปีที่ 1, 2, 3, ..., n)
- n = อายุของโครงการ

10) คำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) หรือค่า t ซึ่งหมายถึงระยะเวลากิจการดำเนินการโครงการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก [3] นั่นคือคำนวณหาค่า t ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ (0)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - C_0 = 0 \quad (8)$$

โดยที่

- B_t = รายได้ของโครงการที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_t = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (หรือเดินระบบ) และค่าบำรุงรักษาสินค้าทุนที่เกิดขึ้นในปีที่ t
- C_0 = ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก
- i = อัตราส่วนคิดลด (Discount rate) หรืออัตราเงินเฟ้อ
- t = ปีของการดำเนินงานโครงการ (ปีที่ 1, 2, 3, ..., n)
- n = อายุของโครงการ

3. ผลการวิจัย (Results)

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube heat exchanger) ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิของ

- สายร้อนขาเข้า ซึ่งเป็นอุณหภูมิของก๊าซไอเสีย (Flue gas) ที่ออกจากหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน
- สายร้อนขาออก ซึ่งเป็นอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว

- สายเย็นขาเข้า ซึ่งเป็นอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

- สายเย็นขาออก ซึ่งเป็นอุณหภูมิของอากาศหลังผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ที่ได้จากการวัดที่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1-4 เป็นไปดังแสดงในตารางที่ 1 ทั้งนี้ หลักในการออกแบบคือหาพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่พอเพียงสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนจากสายร้อน (ก๊าซไอเสีย) ไปยังสายเย็น (อากาศ) โดยที่อุณหภูมิของสายร้อนขาออกจะต้องสูงกว่าอุณหภูมิของสายเย็นขาออก ตารางที่ 1 อุณหภูมิของสายร้อนขาเข้าและขาออก และสายเย็นขาเข้าและขาออกของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1-4

เครื่องที่	อุณหภูมิ (°C) ของ			
	สายร้อนขาเข้า	สายร้อนขาออก	สายเย็นขาเข้า	สายเย็นขาออก
1	260	151	36	150
2	260	151	36	150
3	220	131	36	129
4	250	147	36	145

ผลการออกแบบพบว่าอุณหภูมิของก๊าซไอเสียที่ออกจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงจากประมาณ 220-260 °C เป็นประมาณ 131-151 °C ขณะที่อุณหภูมิของสายเย็นเพิ่มขึ้นจาก 36 °C เป็นประมาณ 129-150 °C

ในการคำนวณหาพื้นที่ของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้กำหนดให้ใช้รูปแบบของการไหลของสายร้อนและสายเย็น วัสดุที่ใช้ทำเปลือก (Shell) และท่อ (Tube) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและความยาวของท่อ ระยะห่างระหว่างท่อ (Tube pitch) และการจัดเรียงตัวของท่อ เป็นไปตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในข้อ 2 ของวิธีวิจัย โดยมีหลักในการออกแบบที่ต้องการให้การไหลในท่อของก๊าซไอเสีย (สายร้อน) เป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) หรือมีค่า $Re > 10,000$ เพื่อให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการออกแบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าความเร็วของการไหลก๊าซไอเสียในท่อสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วง 24-29 m/s ซึ่งเป็นความเร็วที่ทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน ที่มีค่า $Re > 10,000$ และมีพื้นที่ของการแลกเปลี่ยนความร้อนอยู่ในช่วง 9-25 m²

เมื่อติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การที่จะมีความร้อนจากการเผาไหม้น้ำมันดีเซล (ที่ใช้

เป็นเชื้อเพลิงในหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อน) ที่สูงขึ้น โดยมีผลการคำนวณเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 จำนวนท่อ ความเร็วของการไหลในท่อ และขนาดพื้นที่ของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1-4

เครื่องที่	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อ (in)	ความยาวของท่อ (in)	จำนวนท่อ	ความเร็วในท่อ (m/s)	พื้นที่ของการแลกเปลี่ยนความร้อน (m ²)
1	1	8	61	24.7	9.60
2	1	8	138	28.5	24.96
3	1	8	138	26.3	23.47
4	1	8	112	24.8	17.34

ตารางที่ 3 ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ที่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1-4 ที่เพิ่มขึ้น ($Q_{increase}$) เมื่อมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องที่	Q_{before} (MJ/h)	Q_{after} (MJ/h)	$Q_{increase} = Q_{after} - Q_{before}$ (MJ/h)
1	1,406	1,530	124
2	3,497	3,821	324
3	3,628	3,890	262
4	3,705	3,926	221

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลคำนวณข้างต้นพบว่าการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาให้ความร้อนแก่อากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่องส่งผลให้ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ที่หัวเผาแต่ละหัวมีค่าสูงขึ้น (ดังแสดงในตารางที่ 3)

และจากการที่ความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้ที่หัวเผามีค่าเพิ่มขึ้นจะนำไปสู่การคำนวณหาร้อยละ ปริมาณ และค่าเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซลที่ลดลง ตามรายละเอียดที่แสดงไว้ในข้อ 5-7 ของวิธีวิจัย ซึ่งผลการคำนวณเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ อัตราการไหลของน้ำมันดีเซลของแต่ละหัวเผาคำนวณจากอัตราการผลิตความร้อนสูงสุดของหม้อต้มน้ำมันร้อนแต่ละเครื่องหารด้วยค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล (LHV_{diesel})

ตารางที่ 4 ปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้น ($Q_{increase}$) ร้อยละของน้ำมันดีเซลที่ลดลง และค่าเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ประหยัดได้เมื่อมีการติดตั้งเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1-4

เครื่องที่	อัตราการผลิตความร้อนสูงสุด (MJ/h)	อัตราการไหลของน้ำมันดีเซล (kg/h)	$Q_{increase}$ (MJ/h)	ร้อยละของน้ำมันดีเซลที่ประหยัดได้	ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้ (บาท/ปี)
1	1,670	39.2	124	7.44	696,126
2	4,180	98.1	324	7.76	1,817,312
3	4,180	98.1	262	6.25	1,465,978
4	4,180	98.1	221	5.29	1,242,646

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาให้ความร้อนแก่อากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนส่งผลให้สามารถประหยัดเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ได้ประมาณร้อยละ 5.3-7.8 และเมื่อคำนวณออกมาเป็นค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 696,126-1,465,978 บาท/ปี

เมื่อนำไปวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาให้ความร้อนแก่อากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนโดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ โดยมีข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ของการลงทุนดังนี้

- 1) ราคาลงทุนเริ่มต้น (C_0) ซึ่งเป็นราคาของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ โดยมีมูลค่าเท่ากับ 500,000 บาท/เครื่อง [4]
- 2) อายุของโครงการ (เท่ากับอายุการใช้งานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน) ซึ่งเท่ากับ 15 ปี [4]
- 3) ค่าใช้จ่ายรายปี [เช่น ค่าบำรุงรักษา และค่าจ้างแรงงาน (คิดเฉลี่ยปีส่วน) เป็นต้น] ซึ่งมีค่าเท่ากับ 75,000 บาท/ปี [4]
- 4) อัตราเงินเฟ้อ (อ้างอิงจากธนาคารแห่งประเทศไทย [5]) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 1
- 5) อัตราเงินกู้ปัจจุบัน (อ้างอิงจากธนาคารกสิกรไทย [6]) ซึ่งมีค่าในช่วงร้อยละ 6.25-6.87

โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ อันได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV) อัตราผลตอบแทนคิดลด (Internal rate of return: IRR) และระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) พบว่าเป็นไปได้ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำความร้อนเหลือทิ้งจากก๊าซไอเสียมาให้ความร้อนแก่อากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนเครื่องที่ 1-4 โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ

เครื่อง ที่	มูลค่าปัจจุบัน สุทธิ (NPV) [ล้านบาท]	อัตราผลตอบแทน คิดลด (IRR) [%]	ระยะเวลาคืน ทุน (PB) [เดือน]
1	9.1	139	8.8
2	24.7	363	3.4
3	19.8	293	4.1
4	16.7	249	4.9

จากผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) มีค่าเป็นบวกทั้งหมด แสดงว่ามีกำไรจากการลงทุน นั่นคือมีรายรับ (ค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้) โดยรวมสูงกว่ารายจ่าย (เงินลงทุนเพื่อซื้อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและค่าใช้จ่ายรายปี) อัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 139-363 ซึ่งสูงกว่าอัตราเงินกู้ในปัจจุบัน (ร้อยละ 6.25-6.87) แสดงว่ามีอัตราผลตอบแทนของการลงทุนสูงกว่าการนำเงินไปลงทุนด้วยการให้กู้ยืม และระยะเวลาคืนทุน (PB) อยู่ในช่วงระยะเวลาเพียง 4-9 เดือน ซึ่งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุของโครงการ (อายุของโครงการเท่ากับ 15 ปี ดังนั้น ครึ่งหนึ่งของอายุโครงการจึงเท่ากับ 7.5 ปี) แสดงว่าการลงทุนนี้จะได้ทุนคืนก่อนครึ่งหนึ่งของอายุโครงการ

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการประเมินความเป็นไปได้ของการปรับปรุงระบบการให้ความร้อนของยางมะตอยโดยการนำความร้อนเหลือทิ้ง (Waste heat) จากก๊าซไอเสีย (Flue gas) มาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผา (Burner) ของหม้อต้มน้ำมันร้อน (Hot-oil boiler) ทั้ง 4 เครื่อง โดยใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ (Shell and tube heat exchanger) พบว่าทำให้ประหยัดน้ำมันดีเซลที่ใช้สำหรับหัวเผาของหม้อต้มน้ำมันร้อนในช่วงประมาณ 690,000-1,820,000 บาทต่อปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ในช่วง 9,100,000-24,700,000 บาท มีอัตราผลตอบแทนคิดลด (IRR) ในช่วงร้อยละ 139-363 ซึ่งสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ในปัจจุบัน (ร้อยละ 6.25-

6.87) และมีระยะเวลาคืนทุน (PB) ในช่วงประมาณ 4-9 เดือน ซึ่งน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอายุโครงการ (15 ปี) แสดงว่าการลงทุนมีความเป็นไปได้ทั้งในเชิงเทคนิคและในเชิงเศรษฐศาสตร์

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณ คุณอนันต์ชัย แซ่จิ๋ว คุณรัชชานนท์ ชูตระกูล คุณรัฐศาสตร์ ไชยกันทา คุณดารณี เงินพา คุณมารุต กิ่งสอน และพนักงาน (ของโรงงานผลิตยางมะตอยแห่งหนึ่ง) ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง (References)

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยางมะตอยและการนำไปใช้งาน, กรุงเทพฯ: บริษัท ทิปปิกแอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน), 2550
- [4] รัชชานนท์ ชูตระกูล, ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ส่วนบุคคล, (วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2561)
- [5] ธนาคารแห่งประเทศไทย, อัตราเงินเฟ้อ, ข้อมูลจาก <https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/MonetaryPolicyCommittee/MPR/Pages/default.aspx> (วันที่ 1 กันยายน 2562)
- [6] ธนาคารกสิกรไทย, อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อ, ข้อมูลจาก <https://kasikornbank.com/th/rate/Pages/lending.aspx> (วันที่ 1 กันยายน 2562)

7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [2] Walsh M. and Shah, J.J., Clean Fuels for Asia: Technical Options for Moving Toward Unleaded Gasoline and Low-Sulfur Diesel, USA: The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, 1997.
- [3] Park C.S., Fundamentals of Engineering Economy, 3rd ed., USA: Pearson Education, Inc., 2013.

Optimization of Hydrogen Production from Different Biomass Feedstocks Using Gasification Process

Jarupa Surachaidungtavil, Nisachon Sakwanichon, Tanit Bhibhatbhan*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University
99 moo 18 Pahonyothin road, Klong Nueng, Klong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand

*btanit@engr.tu.ac.th

Abstract

In this research, gasifications of leaves and peak of cane, leaves and palm trees and straw were simulated by Aspen plus V9 and compared to produce hydrogen-rich synthesis gas to generate electricity. Experiments were tuned optimum condition by varying the temperature of fluidized bed gasifier from 600-1000 °C and steam to biomass ratio (SB ratio) from 0.1-5. When increasing steam to biomass ratio, hydrogen gas production increased while increasing fluidized bed gasifier's temperature, hydrogen production increased at low SB ratio but decreased at high SB ratio. Optimum condition to produce maximum hydrogen in synthesis gas of three types of biomass were at 5 SB ratio. Optimum fluidized bed gasifier's temperature of leaves and palm trees, leaves and peak of cane and straw were at 620, 630 and 630 °C to produce 210.375, 203.084 and 214.380 kmolH₂/hr, respectively. Therefore, the optimum condition to produce maximum amount of hydrogen gas was (from straw) at 5 SB ratio and fluidized bed gasifier's temperature at 630 °C.

Key word: Gasification; Hydrogen; Synthesis gas; Biomass; Aspen plus

1. Introduction

Thailand industrial index in 2017-2018 has been expanded to 3.04 and expected to be expanded more in 2019. Then electricity demand also runs after this industrial expansion index [1].

Thailand is an agricultural country. After harvesting, agricultural waste can be used to produce energy from biomass. Typical of biomass can be classified into 2 types of moisture content and 6 types of source of biomass. Moisture content divided into wet conversion biomass and dry conversion biomass. Source of biomass are categorized into agricultural product, agricultural waste, after wildfire waste, waste from forest industrial, dungs and municipal solid waste (MSW).

Thus, this research was simulated hydrogen production from gasification of leaves and palm trees, leaves and peak of cane and straw using Aspen Plus V9 and study effects of types of biomass, fluidized bed gasifier's temperature and steam to biomass ratio to find optimum of hydrogen production to generate electricity.

1.1. Gasification process

Biomass gasification is a process that burns biomass under restricted air supply in order to generate producer gas [2]. Producer gas is a mixture of gas that mostly consist of carbon monoxide and hydrogen. It produced from the following main reactions, which occur inside a biomass gasifier

In drying process, biomass is heated to over 100 °C. The moisture in biomass is converted into steam. After drying, biomass undergoes pyrolysis. Pyrolysis is a process which burn biomass completely without supplying any oxygen. As a result, biomass is decomposed into solids, liquids and gases. Biochar is the solid part, tar is the liquid part and flue gases make up the gases part.

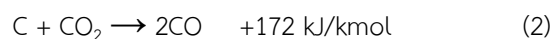
In oxidation process or combustion, the air is injected into the gasifier after the decomposition process. During oxidation, which takes place at about 700-1400 °C biochar, or the solid carbonized

fuel, reacts with the oxygen in the air to produce carbon dioxide and heat

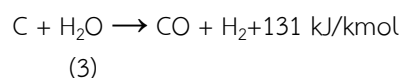


In reduction process or gasification, at higher temperatures and under reducing conditions, when there is not enough oxygen available, the following reactions take place forming carbon dioxide, hydrogen and methane.

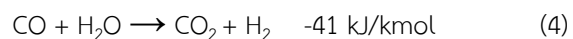
Boudouard Reaction



Water Gas Reaction



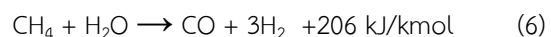
Water Gas Shift



Methane Production



Steam Reforming



1.2. Dual fluidized bed gasifier

Dual fluidized bed gasifier is co-work of bubbling fluidized bed gasifier and circulating fluidized bed combustor. In the gasifier, the biomass and steam are fed. Drying, pyrolysis and gasification are occurred. In combustor, char and used bed are moved to combustor and oxidized with oxygen in the air. Char is converted into fuel gas. Coke which mantle the used bed is removed. Burned bed is reused in gasifier again. Characteristic of dual fluidized bed gasifier show in Fig. 1.

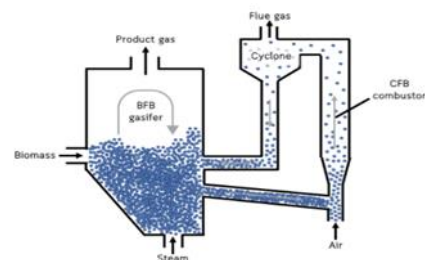


Fig 1. Dual fluidized bed gasifier

2. Research Methodology

Steam biomass gasification was simulated by Aspen Plus V9. The Peng Robinson cubic equation of state with the Boston-Mathias alpha function (PK-BM) was used for all the thermodynamic properties.

The following is the assumption in simulation of steam gasification process

1. Steady state simulation
2. Uniform temperature distribution for the biomass particle
3. Tar is not considered
4. Particle size is not considered
5. Char is 100 % carbon
6. Constant pressure
7. Adiabatic process

First, two types of components were determined by input conventional component (C, CO₂, CO, H₂, H₂O, N₂, O₂, CH₄, Cl₂, S, HCl, NH₃, H₂S and SO₂) and nonconventional (BIOMASS and ASH) into model. Enthalpy and density of non-conventional component were calculated by HCOALGEN and DCOALIGT method.

The Aspen Plus flowsheet of steam biomass gasification is shown in Fig.2. Hydrogen production process includes pyrolysis zone, gasification or reduction zone and combustion zone. Firstly, BIOMASS stream was fed into pyrolysis reactor (PYR) at 25 °C, 1 atm via proximate analysis and ultimate analysis of 3 types BIOMASS leaves and palm, trees leaves and peak of cane and straw

(show in table 1). Pyrolysis reactor used for decomposing organic substance to volatile matters (C, H₂, O₂, Cl₂, N₂ and S) and biochar in AFT-PYR stream. Separation unit (SEP) was used to separate 99% biochar (CHAR) from volatile matters (CHAR-GAS). The separated CHAR was flowed into combustion reactor (COM) at 900 °C, 1 atm for react with oxygen in the air (AIR) by 99 % of CHAR is converted. Mixture of carbon dioxide and remain biochar (AFT-COM) that produced from combustion reactor was split remain biochar (SOLID) from AFT-COM in 0.85 efficiencies of cyclone (CYCLONE). The product from combustion section was the gas consist the most of carbon dioxide (FLUE-GAS). The volatile matters (CHAR-GAS) used in biomass gasification using steam gasifying agent (STAEM). Main reaction in gasifier (GASIFIER) such as Boudouard reaction, Water gas reaction, Water gas shift, Methane production and Steam reforming were produced hydrogen-rich synthesis gas (AFT-GAS) at temperature from 600 to 1000 °C, 1 atm. In the part of the energy, Biochar combustion at the combustion zone produced heat (Q) in order to support the most of endothermic gasification reactions and heat for the PYR (Q1) was required for pyrolysis zone also.

Table 2 shows the block description used in simulation whereas the detail specifications of inlet stream are listed in Table 3.

Table 1. proximate analysis and ultimate analysis [4]

Type of biomass	Proximate analysis (%)				Ultimate analysis (%)				
	Moisture	Ash	VM	Fixed carbon	C	H	O	N	S
leaves and palm trees	64.56	39.3	3123	72.8	255.0	80.83	13.67	00.07	0
leaves and peak of cane	77.61	30.79	44.27	60.98	91.16	90.02	04.70	00.15	00.06
straw	03.44	50.60	39.25	40.96	04.15	90.19	41.69	00.72	00.02

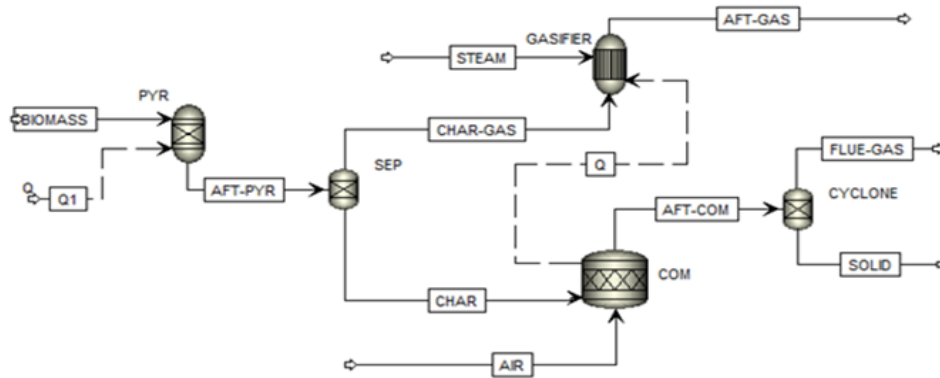


Fig. 2. The Aspen plus flowsheet of steam biomass gasification [5]

Table 2. Block description used in simulation [5]

Model	Block ID	Description
RYield	PYR	It used to convert non-conventional stream to conventional stream by calculation block
Sep	SEP CYCLONE	Separates inlet stream components into multiple outlet streams, based on specified flows or split fractions
RStoic	COM	Models stoichiometric reactor with specified reaction extent or conversion.
Model	Block ID	Description
RGibbs	GASIFIER	RGibbs reactor uses Gibbs free energy minimization with phase splitting to calculate phase and chemical equilibrium

Table 3. Specifications for inlet streams

Stream	Temp	Pressure	Flow rate
BIOMASS	25 °C	1 atm	2000 kg/hr
AIR	450 °C	1 atm	2240 kg/hr
STEAM	450 °C	1 atm	S/B = 0.1-5
Q1	25 °C	-	-

*Steam to biomass ratio (S/B) = mass flow rate of steam / mass flow rate of biomass

Hydrogen-rich synthesis gas production by steam gasification process was simulated to find optimum condition to produce maximum hydrogen when type of biomass, steam to biomass ratio and fluidized bed gasifier's temperature were changed.

The model was validated mole fraction of synthesis gas composition and volumetric flow rate of synthesis gas composition in any components with the research of Ke Sun [5]. Conditions of reference given in Table 4. and result comparison are shown in Fig. 3. and Fig. 4.

Table 4. Conditions of Ke Sun research [5]

Variable	
Type of biomass	Wood chips
Steam to biomass ratio	0.6
fluidized bed gasifier's temperature	650 °C

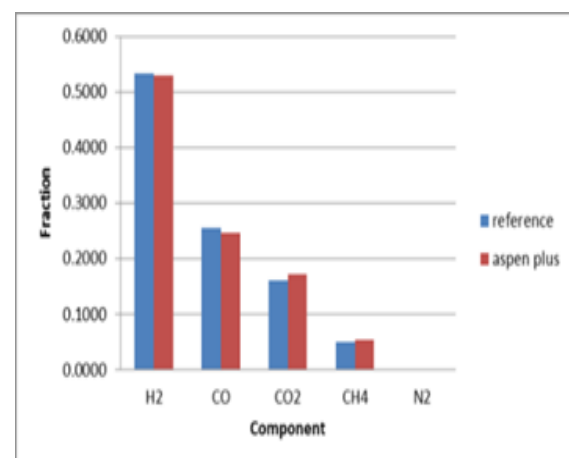


Fig. 3. Comparison of mole fraction of synthesis gas composition between model and reference

3. Results and Discussion

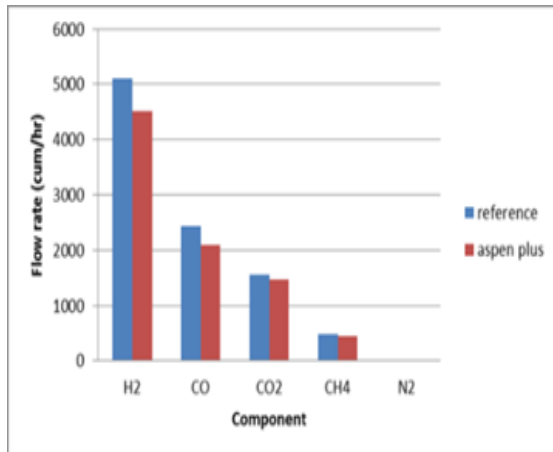


Fig. 4. Comparison of volumetric flow rate of synthesis gas composition between model and reference

The difference between model and reference is less than 20 percent. So, Gasification model can be used.

3.1. Effect of steam to biomass ratio and fluidized bed gasifier's temperature

Variance of steam to biomass ratio and fluidized bed gasifier's temperature effect on the amount of hydrogen in the same way for all of biomass. Increasing of steam to biomass ratio effected on the amount of hydrogen in whole range of fluidized bed gasifier's temperature. At low steam to biomass ratio, Higher temperature of fluidized bed gasifier can be produced higher hydrogen. Whereas at high steam to biomass ratio, higher temperature of fluidized bed gasifier can be produced lower hydrogen. The results of hydrogen production by leaves and palm, trees leaves and peak of cane and straw was show in Fig.5, 6 and 7, respectively.

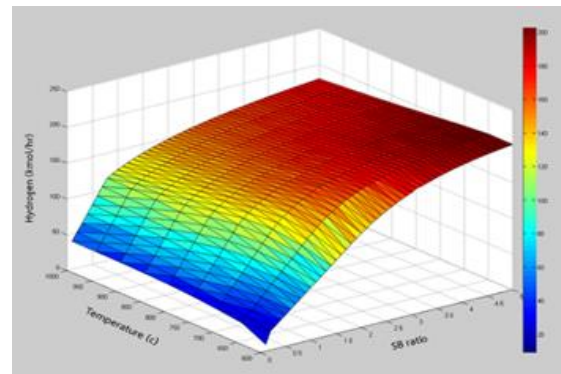


Fig. 5. Amount of hydrogen produced by leaves and palm trees when changing steam to biomass ratio and fluidized bed gasifier's temperature

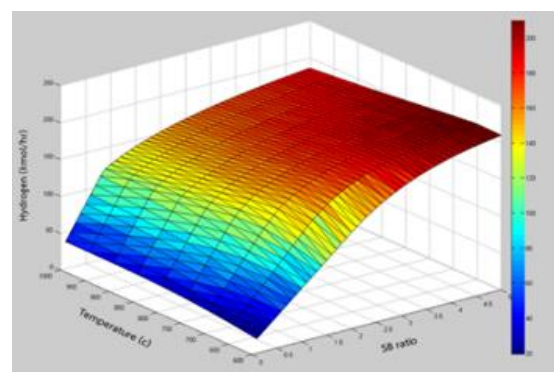


Fig. 6. Amount of hydrogen produced by leaves and peak of cane when changing steam to biomass ratio and fluidized bed gasifier's temperature

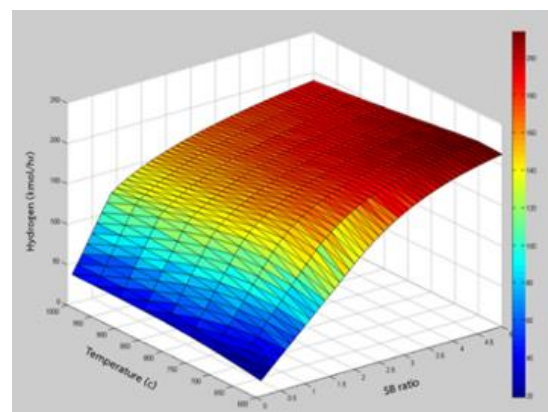


Fig. 7. Amount of hydrogen produced by straw when changing steam to biomass ratio and fluidized bed gasifier's temperature

Steam/biomass ratio that produced maximum of hydrogen was 5. Gasifier's temperature which produced maximum hydrogen

in leaves and palm, trees leaves and the peak of cane and straw were 620, 630 and 630 °C and produced hydrogen 203.084, 210.375 and 214.380 kmol/hr, respectively.

Therefore, The optimization of hydrogen production from different biomass feedstocks using gasification process was produced by straw at 5 steam to biomass ratio, at 630 °C Effect of fluidized bed gasifier's temperature to synthesis gas composition.

Increasing of fluidized bed gasifier's temperature effected to synthesis gas composition in the same trend for all of the biomass. When increasing fluidized bed gasifier's temperature, hydrogen and carbon monoxide was increased however carbon dioxide was decreased. This result can be explained by gasification reaction. Water gas reaction and Steam reforming were endothermic reaction. When increasing temperature, both of reaction were forward and produced more hydrogen. While Water gas shift and Methane production were exothermic reaction. When increasing temperature, both of reaction were reversible and produced more hydrogen and carbon monoxide as shown in Fig. 8., 9. and 10.

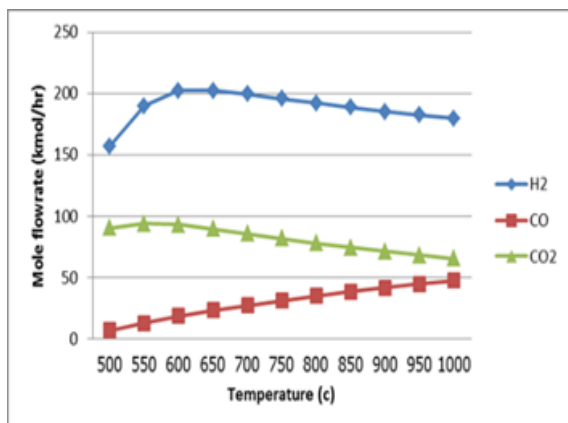


Fig. 8. Effect of fluidized bed gasifier's temperature to synthesis gas composition at 5 steam to biomass ratio produced by leaves and palm trees

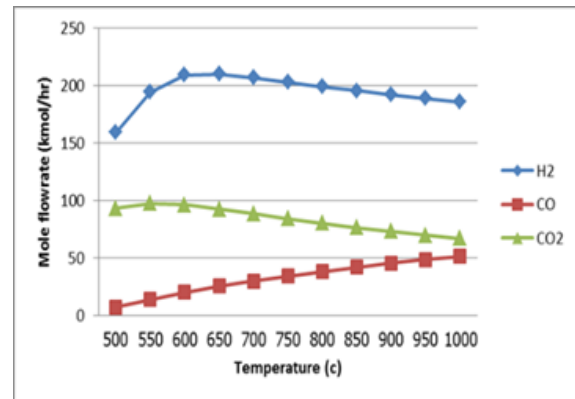


Fig. 9. Effect of fluidized bed gasifier's temperature to synthesis gas composition at 5 steam to biomass ratio produced by leaves and peak of cane

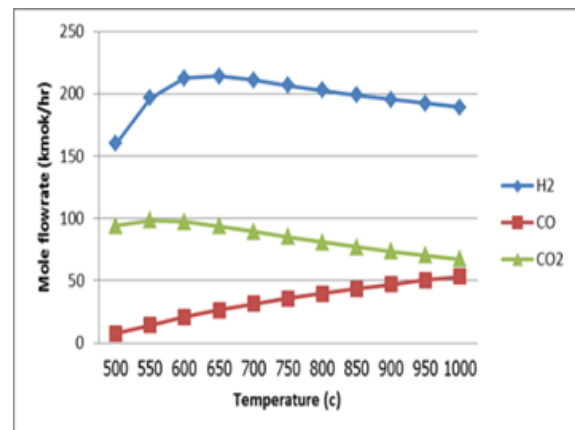


Fig. 10. Effect of fluidized bed gasifier's temperature to synthesis gas composition at 5 steam to biomass ratio produced by straw

3.2. Effect of biomass types to hydrogen production

From 3 types of biomass, we found that straw can produced the maximum hydrogen. Followed by leaves and peak of cane and the last that produced minimum hydrogen was leaves and palm trees.

Table 5 shown percent of hydrogen in ultimate analysis was direct variable with amount of hydrogen gas produced. Therefore, amount of hydrogen production was determined by trend of hydrogen in ultimate analysis.

Table 5. Hydrogen produced from each types of biomass compared with ultimate analysis

Type of biomass	%H in ultimate analysis	Hydrogen (kmol/hr)
leaves and palm trees	8.834	203.084
leaves and peak of cane	9.024	210.375
Straw	9.191	214.380

4. Conclusion

The results gained from this simulation indicated that variation of fluidized bed gasifier's temperature and SB ratio effected to amount of hydrogen gas exactly the same way with each biomass. Therefore, the optimum condition for maximum hydrogen gas production is 5 SB ratio. The optimum fluidized bed gasifier's temperature of leaves and palm, trees leaves and peak of cane and straw were at 620, 630 and 630 °C can be produced 203.084, 210.375 and 214.280 kmol H₂/hr, respectively. Hence, maximum amount of hydrogen gas was produced by straw at 630 °C and 5 SB ratio.

5. Acknowledgement

Sincere gratitude to Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University for the kindness setting up the Aspen Plus V. 9 for this research.

6. References

- [1] Ministry of Industry, "Situation of Industrial production in Thailand", January 2018 (In Thai)
[Online]. Available:
http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/summary_report/industryeconomicssituationreportjan2018.pdf.
- [2] Monar energy, "Biomass gasification"
[Online]. Available:
<http://biomasspower.gov.in/document/download>. [Accessed 23 May 2019].
- [3] Capital energy, "Circulating fluidized bed

gasifier," 3 August 2015. [Online]. Available:
capitalenergy.biz/?p=7911.

[Accessed 23 May 2019].

- [4] Chantravongphaisarn Ltd., "Pellet production situation in Thailand" (in Thai), [Online]. Available:
www.jgsee.kmutt.ac.th/v2/uploads.
[Accessed 23 May 2019].
- [5] Ke Sun, "Optimization of biomass gasification reactor using Aspen Plus", *Telemark University College*, pp. 1-76, 2014.
- [6] Pugnatorius Ltd., "Biomass facilities in Thailand", 5 April 2019. [Online]. Available:
<http://pugnatorius.com/biomass>. [Accessed 23 May 2019].
- [7] Ming Zhao, Vineet Singh Sikarwar, "An overview of advances in biomass gasification", *Royal society of chemistry*, pp. 1-10, 2016.

เทคโนโลยีสะอาดสำหรับการลดของเสียในกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป Clean Technology for Reducing Waste in the Instant Noodle Production Process

มนีรัตน์ นกยงทอง และ พรทิพย์ ศรีแดง

¹ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

6 ถนนราชมรรคาใน อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

beebee1896@gmail.com

Porntipsridang999@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสาเหตุการเกิดของเสียและนำหลักเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในการลดของเสียที่แหล่งกำเนิดในกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โดยรวบรวมข้อมูลการใช้ทรัพยากร วัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ วิธีการปฏิบัติงาน แหล่งกำเนิดของเสีย สาเหตุ และปริมาณของเสีย ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการผลิตย่อยที่เกิดของเสียและเกิดการสูญเสียน้ำล้างอุปกรณ์มากคือ ขั้นตอนการทอด การนึ่ง และการเป่าเย็น โดยเกิดน้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์ร้อยละ 99.65 เนื่องจากการล้างทำความสะอาดไม่มีเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพหลังการล้าง ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมปฏิบัติงานของพนักงาน และความเฉพาะของเครื่องจักร ปัญหาดังกล่าวถูกนำมาปรึกษาร่วมกันระหว่างผู้ที่เกี่ยวข้อง และได้ข้อเสนอแนะทางปรับปรุงการดำเนินงานด้วยการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีและกระบวนการทำงาน ได้แก่ กำหนดระเบียบปฏิบัติการล้างกระบะทอด กำหนดเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพการล้าง การฝึกอบรมพนักงาน และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยผลศึกษาการตรวจประเมินละเอียดและการปฏิบัติตามข้อเสนอแนะทางการปรับปรุง พบว่าพนักงานมีความตระหนักเรื่องการใช้น้ำมากขึ้นร้อยละ 80 ส่วนการกำหนดเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างและจัดทำระเบียบปฏิบัติการล้างสามารถลดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานได้ร้อยละ 100 สำหรับการปรับเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) พบว่า สามารถลดการใช้น้ำล้างทำความสะอาดได้ร้อยละ 41.46 ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้ร้อยละ 28.57 ลดปริมาณการใช้น้ำล้างภาชนะได้ร้อยละ 69.57 และลดค่าใช้จ่ายสำหรับจ่ายให้ผู้รับเหมาได้ร้อยละ 100 ยอดรวมทุกรายการที่ประหยัดได้เท่ากับ 11,868 บาทต่อรอบการเปิดล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสะอาด; น้ำล้างอุปกรณ์; กระบะทอด; การผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป; ของเสีย

Abstract

The objective of this research is to study the causing of waste generation and to apply clean technology principles for reducing waste at the source in the instant noodle production process. This study was conducted by collecting the data of raw materials resources and packaging used. The way of working in the process, source of waste, cause and amount of waste were also investigated in this study. The results indicated that the sub-production process generated several wastes and it caused to lost of resources in the production coming from steaming frying process and cold process. The wastewater from washing process (equipment and miscellaneous) was about 99.65% due to no cleaning criteria and no checking of its efficiency at the end of washing step. This also caused by the behavior for all employees. In addition, the specific of the machine was found to be one of the problems based and its discussions and proposed to take in action by changing the technology and working procedures, (define regulations

for clearing fried machine, determine the criteria for clearing performance, check staff after training and change in machinery technology). The results of detailed assessment and the proposed of guidelines for implementing could improved 80% of waste reduction. The criteria of washing efficiency and cleaning procedures were set up as regular checking and working procedure. This could be reduced the error in the operation by 100%. The change of the heat exchanger showed that it reduced the use of washable water by 41.46%, working time for 28.57% reduction, consumption of detergent remaining about 69.57% and cost reduction for the contractor operation about 100%. All suggestions were implemented and could save around 11,868 baht per opening of heat exchange washing.

Keywords: Clean technology; Water washing equipment; Frying pans; Instant noodle production; Wastes

1. บทนำ

บะหมี่กึ่งสำเร็จรูปเป็นอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารที่มีความสำคัญและพัฒนาให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นอยู่ที่เปลี่ยนไปกับภาวการณ์ทางเศรษฐกิจส่งผลให้การดำรงชีวิตของผู้คนต้องปรับตัวรวมถึงการต้องเร่งรีบแข่งกับเวลามากขึ้นแม้ในยามรับประทานอาหารทำให้เกิดความนิยมในการบริโภคบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปอย่างต่อเนื่อง [1] ส่งผลให้เกิดการขยายตัวทางธุรกิจและการแข่งขันทางการตลาดในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปต้องเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตร่วมกับการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับกระบวนการผลิตและการบริหารต้นทุนการผลิตให้อยู่ในระดับต่ำ รวมถึงของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต้องน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย กระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปของผู้ผลิตมักใช้เครื่องจักรที่ทันสมัย สามารถผลิตได้ในปริมาณมากเพื่อจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปประกอบด้วยขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและผสมแป้ง การรีดแผ่นแป้ง การตัดให้เป็นเส้น การนึ่งแป้ง การราดน้ำซุ๊ป การตัดแต่งก้อนบะหมี่ การทอด การเป่าเย็น และการบรรจุจัดเก็บ ตามลำดับ จากกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปแต่ละขั้นตอนมีการใช้วัตถุดิบที่แตกต่างกัน เช่น แป้งชนิดต่างๆ เครื่องปรุงรส น้ำมันพืช ฟิล์ม กล่องกระดาษ และเทปใส โดยขั้นตอนการทอดบะหมี่ใช้วัตถุดิบหลักน้ำมันพืชและพบว่าการสูญเสียวัตถุดิบน้ำมันพืชไปกับผลิตภัณฑ์ กากผลิตภัณฑ์ น้ำมันที่เล็ดจากการทอด น้ำมันหกรั่วไหลและน้ำมันที่ปนเปื้อนไปกับน้ำล้างอุปกรณ์ ส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการกากของเสียน้ำมันพืช โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการล้างทำความสะอาด ต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้างทำความสะอาดคราบน้ำมันและไขมันที่ติดอยู่บนอุปกรณ์ เครื่องจักรและบริเวณพื้น รวมถึงต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนด้วยน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นด้วย

เทคโนโลยีสะอาดนับว่าเป็นเครื่องมือที่ใช้เป็นแนวทางในการลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม และเป็นแนวทางเลือกในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตให้เหลือน้อยที่สุดหรือไม่มีเลย [2] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาเกี่ยวกับหลักเทคโนโลยีสะอาดอย่างละเอียดและให้การสนับสนุนภาคอุตสาหกรรมในการปรับปรุงกระบวนการและวิธีการผลิตผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเพื่อลดปัญหาการจัดการกากของเสียหรือมลพิษ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันระหว่างประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูลปริมาณการเกิดของเสีย ประเมินจุดที่มีการสูญเสีย และหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย รวมถึงศึกษาค่าใช้จ่ายของแนวทางในการจัดการเพื่อลดการสูญเสียทรัพยากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูปได้

2. วิธีวิจัย

2.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 เดือน โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษารั้งนี้ คือ ข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงาน ซึ่งผู้วิจัยได้สอบถามพนักงานและผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรในกระบวนการผลิต ข้อมูลเฉพาะของกระบวนการผลิตตามข้อกำหนดของลูกค้า และการสังเกตการปฏิบัติงานของพนักงานแบบไม่รู้ตัวเพื่อให้ได้ข้อมูลจากสภาพการทำงานจริงของโรงงานผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป โดยใช้แบบประเมินตามหลักเทคโนโลยีสะอาด และข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการลงบันทึกประจำวันของโรงงานผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เกี่ยวกับวัตถุดิบวัสดุ จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนพลังงาน และของเสีย เป็นต้น

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลและจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหา

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหา โดยวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักเทคโนโลยีสะอาดมี 2 ลักษณะดังนี้ ข้อมูลเชิงปริมาณ เป็นข้อมูลตัวเลขจากการจดบันทึกทางสถิติเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณการใช้ทรัพยากร ปริมาณของเสีย และต้นทุนการบำบัดของเสีย เพื่อนำไปคำนวณความเป็นไปได้ในการลงทุนและผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับ ข้อมูลเชิงปริมาณถูกนำไปใช้เปรียบเทียบโดยวิธี Score & ranking Method ซึ่งเป็นวิธีการให้คะแนนจัดลำดับความสำคัญด้านปริมาณ และผลกระทบจากกระบวนการผลิต เพื่อเสนอแนวทางในการจัดการต่อไป ข้อมูลเชิงปริมาณนี้ นำไปใช้สนับสนุนข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์โดยผู้วิจัย สำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพคือ ข้อมูลที่ได้จากการที่สัมภาษณ์และการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น และการสังเกตสภาพแวดล้อมการทำงาน รวมถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบของโรงงานผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูป

2.3 สรุปประเด็นปัญหา

หลังจากทำการจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาภายในโรงงานผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปแล้ว จึงทำการเสนอแนวทางปฏิบัติและแนวทางแก้ไขตามแนวทางของเทคโนโลยีสะอาด เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและการประกอบกิจการต่างๆ ภายในโรงงานให้มีการใช้วัตถุดิบและทรัพยากรต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์มากที่สุด โดยเน้นไปที่การจัดการและการปรับปรุงในประเด็นปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุด จากผลการจัดลำดับความสำคัญของประเด็นปัญหาต่างๆ ที่ได้จากการประเมินจากข้อที่ 2.2 ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคนได้ร่วมกันแสดงความคิดเห็น และทำการประเมินร่วมกันกับผู้วิจัย หลังจากที่มีการประยุกต์ใช้แนวทางตามหลักเทคโนโลยีสะอาดแล้ว นำข้อมูลมาเปรียบเทียบมูลค่าการสูญเสียที่ลดลง และคำนวณมูลค่าความประหยัด

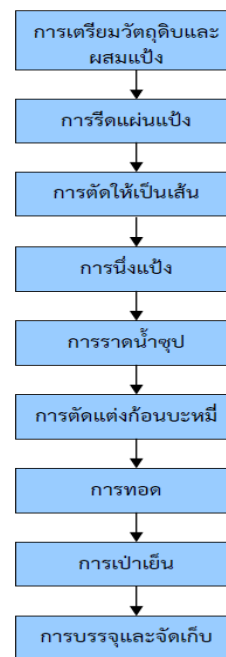
2.4 สรุปผลการศึกษา

นำผลการประเมินแต่ละข้อที่เลือกเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการปฏิบัติ เพื่อหาข้อสรุปการเลือกนำเสนอมาเป็นแนวทางในการปฏิบัติที่ดีในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษที่เฉพาะโรงงานผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปให้พัฒนาอย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป

3. ผลการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

จากการลงพื้นที่สำรวจกระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปและสอบถามจากผู้ปฏิบัติงาน ทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงาน ลักษณะการทำงาน ปริมาณการใช้ทรัพยากร และขั้นตอนการปฏิบัติงาน พบว่า กระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปมีขั้นตอนการผลิตย่อยๆ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูป

ทั้งนี้ข้อมูลของเสียได้จากการสำรวจขั้นตอนกระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปสรุปดังตารางที่ 1

จากการรวบรวมข้อมูลบันทึกประจำวันของโรงงานผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปเกี่ยวกับวัตถุดิบ วัสดุ จำนวนผลิตภัณฑ์ จำนวนพลังงาน และของเสีย ของปี พ.ศ. 2560 (กรกฎาคม – พฤศจิกายน) พบว่า มีการใช้แปรงชนิดต่างๆ เฉลี่ย 29,284 กิโลกรัมต่อครั้ง น้ำมันปาล์ม 7,320.75 กิโลกรัมต่อครั้ง ของเครื่องปรุง 496,134 ชิ้นต่อครั้ง พิล์ม 489.32 กิโลกรัมต่อครั้ง เทปใส 193.8 กิโลกรัมต่อครั้ง กล้องกระดาษ 20,672.25 ชิ้นต่อครั้ง น้ำ 69.65 ลูกบาศก์เมตร ไฟฟ้า 203.51 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ไอน้ำ 1,500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็นวัตถุดิบและพลังงาน นอกจากนี้ยังพบของเสียเศษแป้งเฉลี่ย 27 กิโลกรัมต่อครั้ง เศษเบหมี 527.25 กิโลกรัมต่อครั้ง เบหมีไม่ได้มาตรฐาน 921.25 กิโลกรัมต่อครั้ง บรรจุภัณฑ์ใช้แล้ว 35.03 กิโลกรัมต่อครั้ง น้ำมันปาล์มใช้แล้ว 3,000 กิโลกรัมต่อครั้ง และน้ำเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูป 47.5 ลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง

ตารางที่ 1 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป

ขั้นตอนการผลิตย่อย	ลักษณะของเสีย
การเตรียมวัตถุดิบและผสมแป้ง	แป้งตกพื้น, บรรจุภัณฑ์ใช้แล้ว
การรีดแผ่นแป้ง	น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การตัดให้เป็นเส้น	เศษแป้งจากการรีด, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การนึ่งแป้ง	น้ำเสียจากการนึ่ง, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การราดน้ำซุ๊ป	น้ำเสียจากการราดน้ำซุ๊ป, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การตัดแต่งก้อนบะหมี่	เศษบะหมี่ร่วง, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การทอด	บะหมี่ไหม้, น้ำมันพืชใช้แล้ว, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การเป่าเย็น	เศษบะหมี่ร่วง, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์
การบรรจุและจัดเก็บ	เศษบะหมี่ร่วง, ถ้วยเสีย, ฟิล์มเสีย, กล่องเสีย, บะหมี่ไม่ได้มาตรฐาน, ฝาถ้วยเสีย, น้ำเสียจากการล้างอุปกรณ์

3.2 ปัญหาและแนวทางการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดการสูญเสีย

หลังจากที่ผู้วิจัยได้สำรวจพื้นที่การปฏิบัติงานของกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เพื่อให้เกิดความเข้าใจในขั้นตอนการผลิตย่อยๆ จากนั้นก็เข้าสู่การประเมินจุดที่มีของเสียและเกิดการสูญเสียที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิด้วยการจัดทำแผนผังแสดงมวลเข้าและออกของขั้นตอนการผลิตย่อยของกระบวนการ พบว่า ขั้นตอนการผลิตย่อยการทอดมีการสูญเสียและเกิดของเสียเนื่องจากข้อกำหนดของลูกค้าลูกค้านี้มีส่วนร่วมในการตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างกระบะทอดบะหมี่ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้างทำความสะอาด จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิแกงปลาในการวิเคราะห์ และพบว่าเกิดจากความเฉพาะของเครื่องจักรและอุปกรณ์ของขั้นตอนการทอด การตรวจสอบประสิทธิภาพของการล้างระเบียบขั้นตอนปฏิบัติในการล้างทำความสะอาดกระบะทอด การวางแผนและความรู้ความเข้าใจในการล้างทำความสะอาดกระบะทอดจากนั้นนำเสนอแนะจากการประชุมร่วมกันเข้าสู่การคัดเลือกขั้นตอนการผลิตย่อยของกระบวนการผลิต

บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เพื่อนำไปสู่การลำดับความเป็นไปได้ในการปรับปรุงตามแนวทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด (CT-Option) โดยมีผู้บริหาร หัวหน้าฝ่ายการผลิต และหัวหน้างานประชุมร่วมกันในการให้คะแนนและคัดเลือกขั้นตอนการผลิตย่อยในการปรับปรุงดังนี้

1) การคัดเลือกขั้นตอนการผลิตย่อยของกระบวนการผลิตบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เพื่อนำไปสู่การลำดับความเป็นไปได้ในการปรับปรุงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ขั้นตอนการทอดเป็นขั้นตอนที่มีคะแนนสูงเป็นอันดับหนึ่ง การนึ่งและการเป่าเย็นมีคะแนนเป็นอันดับที่สอง และการบรรจุจัดเก็บมีคะแนนเป็นอันดับสาม

2) การจัดลำดับความสำคัญของการประเมินการใช้ทรัพยากรและการเกิดของเสียจากขั้นตอนการผลิตย่อย โดยนำขั้นตอนการผลิตย่อยที่คัดเลือกได้จากข้อที่ 1) มาจัดลำดับความสำคัญของการประเมินการทำเทคโนโลยีสะอาด พบว่า ประเด็นการทำเทคโนโลยีสะอาดที่มีคะแนนเป็นอันดับหนึ่งคือ การใช้น้ำ/น้ำทิ้ง อันดับสองคือ เครื่องจักร วิธีการปฏิบัติงาน และเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างและอันดับสามคือการใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสม

3) การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียและการสูญเสีย พบว่า ขั้นตอนการผลิตย่อยการทอดมีการสูญเสียและเกิดของเสียเนื่องจากข้อกำหนดของลูกค้านี้มีส่วนร่วมในการตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างกระบะทอดบะหมี่ ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้างทำความสะอาด จึงต้องวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิแกงปลาในการวิเคราะห์ พบว่า มีการสูญเสียทรัพยากรน้ำเนื่องจากล้างคราบน้ำมันและไขมันที่ติดอยู่บนพื้นผิวของอุปกรณ์และเครื่องจักร ทำให้ต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้าง รวมทั้งไม่มีเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพของการล้าง ผู้ปฏิบัติงานจึงใช้น้ำล้างคราบน้ำมันและไขมันที่ติดบนพื้นผิวของอุปกรณ์และเครื่องจักรหลายรอบการล้างในขั้นตอนย่อยที่ล้าง

4) การกำหนดทางเลือกทางเทคโนโลยีสะอาดจากข้อมูลผลการศึกษาและข้อมูลข้อที่ 1) – 3) ได้ทราบสาเหตุของการสูญเสียที่เกิดขึ้นของขั้นตอนการผลิตย่อยที่ควรปรับปรุง คือ การทอด การนึ่ง และการเป่าเย็น จากการสังเกต วิเคราะห์ และศึกษาจากแหล่งความรู้ รวมถึงการแสดงความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต จึงนำไปสู่ทางเลือกที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาปรับใช้ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในขั้นตอนการผลิตย่อย สรุปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รายการทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด

ขั้นตอนการ ผลิตย่อย	ทางเลือก เทคโนโลยี สะอาด	เทคนิคเทคโนโลยีสะอาด
การทอด	เปลี่ยนเครื่องจักร ปรับวิธีการทำงาน	เปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยน ความร้อน, กำหนดเกณฑ์ การตรวจสอบความสะอาด, ฝึกอบรมพนักงาน, ใช้เครื่อง ฉีดยาที่ควบคุมการเปิดปิดที่ ปลายสาย และกำหนด ระเบียบปฏิบัติการล้าง
การนึ่ง	ปรับวิธีการทำงาน เปิดปิดที่ กำหนด	ฝึกอบรมพนักงาน, ใช้เครื่อง ฉีดยาที่ควบคุมการ ปลายสาย และ ระเบียบปฏิบัติการล้าง
การเป่าเย็น	ปรับวิธีการทำงาน เปิดปิดที่ กำหนด	ฝึกอบรมพนักงาน, ใช้เครื่อง ฉีดยาที่ควบคุมการ ปลายสาย และ ระเบียบปฏิบัติการล้าง

5) การคัดเลือกทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด จากการคัดเลือก
ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่สามารถปฏิบัติได้ พบว่า
รายการที่สามารถปฏิบัติได้ทันที คือ กำหนดเกณฑ์การ
ตรวจสอบประสิทธิภาพการล้าง จัดทำระเบียบปฏิบัติการล้าง
การฝึกอบรมพนักงาน ใช้เครื่องฉีดยาที่สามารถควบคุมการ
เปิดปิดที่ปลายสายได้ และการเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อน

3.3 การประยุกต์ใช้หลักเทคโนโลยีสะอาด

ผู้วิจัยได้ใช้ทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดและผลการปฏิบัติ
จากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบแหล่งกำเนิดและประเด็น
ปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียและสูญเสียจากกระบวนการผลิต
และแนวทางการแก้ไขดังนี้

1) ประเด็นพิจารณาการสูญเสียทรัพยากรน้ำในการล้าง
อุปกรณ์และทำความสะอาดสายการผลิตการล้างอุปกรณ์
และการทำความสะอาดสายการผลิต เป็นขั้นตอนหนึ่งที่
ดำเนินการหลังจากการปฏิบัติงานก่อนมีการผลิตสินค้า
รายการใหม่ให้ลูกค้ารายต่อไป พนักงานต้องล้างโดยใช้สาย
ยางฉีดล้างทำความสะอาด เครื่องมือ อุปกรณ์ และบริเวณ
ต่างๆ ของสายการผลิต ซึ่งผลจากการประเมินเบื้องต้น
ปริมาณน้ำรวมที่ใช้ในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์และ

บริเวณสายการผลิตมีสูงถึงประมาณร้อยละ 99.65 ของ
ปริมาณน้ำเสียทั้งหมดในกระบวนการผลิตบะหมี่สำเร็จรูป
32,745 กิโลกรัม ผลการตรวจประเมินพบว่า (1) วิธีการใช้
สายยางฉีดล้างเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากมีน้ำไหล
ตลอดเวลา ทำให้สิ้นเปลืองน้ำ (2) ลูกค้ายอมรับส่วนร่วมในการ
ตรวจสอบความสะอาดด้วยตัวเอง ทำให้ต้องทำความสะอาด
มากขึ้น ต้องใช้น้ำในปริมาณมากเพื่อให้สายการผลิตสะอาด
ตามความต้องการของลูกค้า (3) การล้างทำความสะอาดมี
การปรับเปลี่ยนเพื่อหาขั้นตอนการล้างที่เหมาะสม รวดเร็ว
และสะอาดตามความต้องการของลูกค้าจึงเสนอแนว
ทางแก้ไขปรับปรุงลดการสูญเสีย คือ ใช้เครื่องฉีดยาที่
สามารถควบคุมเปิดปิดน้ำจากปลายท่อได้ร่วมกันหาและ
กำหนดเกณฑ์การตรวจสอบความสะอาดหลังการล้างให้
ชัดเจน เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ปฏิบัติงาน และกำหนดระเบียบ
ขั้นตอนการล้างทำความสะอาดให้ชัดเจน เพื่อเป็นแนวทาง
ในการล้างในครั้งต่อไป พบว่า (1) เมื่อติดตั้งเครื่องฉีดยาที่
สามารถควบคุมการเปิดปิดน้ำได้ที่ปลายสาย สามารถลดการ
ปริมาณการใช้น้ำในการทำสะอาดได้ 3.0 ลูกบาศก์
เมตรต่อครั้ง (2) เมื่อกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการ
ตรวจสอบความสะอาด โดยได้จากการประชุมร่วมกันกับ
ผู้ปฏิบัติงาน ทำให้มีเกณฑ์ในการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนให้
ลูกค้าตรวจ ได้แก่ เศษบะหมี่ คราบไขมันบนพื้นผิวภาชนะ
คราบไขมันบนผิวหน้า และคราบสีดำ สามารถลดความ
ผิดพลาดในการทำงานได้ร้อยละ 100 (3) เมื่อจัดทำระเบียบ
ปฏิบัติขั้นตอนการล้างทำความสะอาดกระบอกทอด ทำให้
พนักงานปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง และสามารถควบคุมปริมาณ
การใช้น้ำ สารทำความสะอาด และปริมาณน้ำยาล้างภาชนะ
ได้อย่างถูกต้องร้อยละ 100

2) ประเด็นพิจารณาการเปรียบเทียบวิธีการล้างกระบอก
ทอด การล้างทำความสะอาดกระบอกทอดบะหมี่ เป็นการล้าง
ทำความสะอาดคราบน้ำมัน ไขมัน และสิ่งสกปรกติดอยู่ที่
พื้นผิวของวัสดุ ภาชนะ อุปกรณ์ และบริเวณพื้นของ
สายการผลิต ผลการประเมินเบื้องต้นของวิธีการล้างทำความสะอาด
กระบอกทอดของโรงงานสำหรับข้อกำหนดของลูกค้า
ซึ่งแตกต่างจากวิธีการล้างประเภทอุตสาหกรรม และวิธีการ
ล้างแบบมาตรฐานพบว่าขั้นตอนการล้างที่ซับซ้อน ใช้
เวลานาน และใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดปริมาณมาก
เมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนการล้างและค่าใช้จ่ายในการล้าง
ทำความสะอาดกระบอกทอดผลการตรวจประเมินพบว่า (1)
พนักงานใช้น้ำยาล้างภาชนะมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น เพื่อกำจัด
คราบไขมัน (2) พนักงานทำตามความเคยชินในการล้างทำ
ความสะอาดอุปกรณ์ (3) ตามข้อกำหนดของลูกค้า ทำให้ยาก
ต่อการล้างทำความสะอาด ต้องใช้น้ำปริมาณมากล้างทำ

ความสะอาดหลายรอบ จึงเสนอแนวทางแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสีย คือ (1) ลดปริมาณน้ำยาล้างภาชนะลงร้อยละ 20 ของปริมาณการใช้จากวิธีการล้างแบบเดิมเมื่อมีการปรับลดการใช้น้ำยาล้างภาชนะจาก 23 ลิตร ลงเหลือ 7 ลิตรต่อครั้ง สามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาล้างภาชนะได้ 16 ลิตรต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 69.57 ของปริมาณการใช้น้ำยาล้างภาชนะแบบวิธีการล้างตามข้อกำหนดของลูกค้า (2) จัดลำดับการล้างประเภทของเสียที่ปรากฏบนภาชนะและอุปกรณ์ก่อนและหลังในการล้างทำความสะอาดเมื่อมีการจัดลำดับการล้างก่อนหลัง สามารถลดปริมาณการใช้น้ำล้างได้ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง คิดเป็นร้อยละ 4.88 ของปริมาณการใช้น้ำในการล้างกระเบทอง และสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ 1 ชั่วโมงต่อครั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการล้างตามข้อกำหนดของลูกค้า (3) ลดขั้นตอนการฉีดน้ำไล่สิ่งตกค้างในขั้นตอนการล้างทำความสะอาด เพราะน้ำที่ค้างในกระเบทองมีปริมาณเพียงเล็กน้อย เมื่อมีการลดขั้นตอนการฉีดไล่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำล้างได้ร้อยละ 2.44 ของปริมาณการใช้น้ำในการล้างกระเบทอง และสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ 30 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการล้างตามข้อกำหนดของลูกค้า

3) ประเด็นพิจารณาการเปรียบเทียบกรณีเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) สำหรับการล้างทำความสะอาดกระเบทองดะหมี่ เป็นการล้างคราบน้ำมัน ไขมัน และสิ่งสกปรกที่ติดอยู่บนพื้นผิวของวัสดุ ภาชนะ อุปกรณ์ และบริเวณพื้นของสายการผลิต จากการประเมินเบื้องต้นการล้างทำความสะอาดกระเบทองของโรงงานให้สะอาดตามข้อกำหนดของลูกค้า นั้น เครื่องจักรแลกเปลี่ยนความร้อนในสายการผลิตก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้การล้างทำความสะอาดต้องใช้เวลา และใช้ทรัพยากร (น้ำ น้ำยาล้างภาชนะ และคน) ในการล้างทำความสะอาดจำนวนมาก เนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้นั้นมีความจำเพาะในเรื่องของรูปทรง และหลักการทำงานของเครื่อง ซึ่งความจำเพาะของเครื่องนั้นส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายสูงและส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้นอีกด้วยจากการประชุมของผู้บริหารเรื่องการเปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จึงนำไปสู่การตรวจประเมินอย่างละเอียดและการศึกษาความเป็นไปได้ในการตัดสินใจต่อไป

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับถ่ายเทความร้อนจากของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง [3] เพื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ หรือหมุนเวียนความร้อนจากการไหลกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในอุตสาหกรรมดะหมี่ก็สำเร็จรูปนำมาใช้เพื่อทำให้อุณหภูมิ

ของน้ำมันสำหรับทอดดะหมี่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน 2 แบบ

1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) แบบเก่าเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเกลียว (Spiral Type Heat Exchanger) ซึ่งนำมาใช้ในอุตสาหกรรมดะหมี่ก็สำเร็จรูป เพื่อทำให้อุณหภูมิของของเหลว (น้ำมัน) เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็ว โครงสร้างสองแถบโลหะโค้งงอเป็นทรงกลม สร้างช่องทางศูนย์กลางสองช่องผ่าน ซึ่งของไหลจะไหลไปในทิศทางตรงกันข้าม ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนถูกกำหนดโดยความกว้างของช่อง มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนได้ดี และมีเสถียรภาพสูงสามารถทำงานร่วมกันได้หลายหน่วยสามารถบรรจุของเหลวน้ำมันได้ 2,000 ลิตร ข้อเสียคือ ยากต่อการทำความสะอาด ซ่อมแซม และใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดปริมาณมาก และระยะเวลานาน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเก่า

2) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) แบบใหม่เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเชลล์และท่อ (Shell and Tube Heat Exchanger) ที่สามารถบรรจุน้ำมันได้ 3,000 ลิตร เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้ของไหลชนิดหนึ่งจะอยู่ในเชลล์ และอีกชนิดหนึ่งจะอยู่ในท่อของเหลวสายหนึ่งจะไหลเข้าไปในท่อและออกไปตามท่อในขณะที่ของเหลวอีกสายหนึ่งจะไหลเข้ามาในที่ว่างภายในระหว่างท่อกับเชลล์และไหลออกไป เครื่องแลกเปลี่ยนชนิดนี้สามารถล้างทำความสะอาดง่าย ใช้เวลาไม่นาน ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใหม่

ผลการตรวจประเมินพบว่า (1) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นรุ่นเก่า และไม่สามารถเปิดฝาถังเองได้ ต้องให้ผู้รับเหมาเปิดฝาถังเพื่อทำความสะอาด ทำให้ใช้เวลานานและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น (2) เมื่อถ่ายน้ำมันออกจากถังเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแล้ว ยังคงมีน้ำมันที่ตกค้างอยู่ภายในถังจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้วิธีการวนน้ำปริมาณ 20 ลูกบาศก์เมตร เพื่อล้างทำความสะอาดคราบน้ำมันและไขมันที่อยู่ภายในถังออกมาให้หมดจึงเสนอแนวทางแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดการสูญเสีย คือ เปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่ คิดเป็นมูลค่าต่อการลงทุน 3,000,000 บาท ซึ่งทำให้ง่ายต่อการทำงานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาด ซึ่งพบว่าสามารถปฏิบัติงานได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดของขั้นตอนการทอด คือ ลดค่าใช้จ่ายสำหรับจ่ายให้ผู้รับเหมาได้อ้อยละ 100 (คิดเป็นเงิน 10,000 บาท) ลดการใช้น้ำในการล้างทำความสะอาดได้อ้อยละ 41.46 (คิดเป็นเงิน 51 บาท) ลดปริมาณน้ำยาล้างภาชนะลงร้อยละ 69.57 (คิดเป็นเงิน 272 บาท) รวมทั้งลดระยะเวลาการล้างทำความสะอาดลงร้อยละ 28.57 (คิดเป็นเงิน 1,545) คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้จำนวน 11,868 บาทต่อการเปิดล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4. อภิปรายผล

จากการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้หลักเทคโนโลยีสะอาด พบว่าขั้นตอนการผลิตย่อยการทอด การนึ่ง และการเป่าเย็น เกิดของเสียและเกิดการสูญเสียน้ำในการล้างทำความสะอาดอุปกรณ์และเครื่องจักรมากถึงร้อยละ 99.65 สาเหตุเกิดจากข้อกำหนดของลูกค้า เครื่องจักร วิธีการทำงาน และพนักงาน จึงเสนอแนวทางการแก้ไขปรับปรุงการลดของเสียและการสูญเสียในขั้นตอนการผลิตย่อยคือ (1) กำหนดเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างทำความสะอาด พบว่า ผลประเมินการล้างทำความสะอาดผ่านเกณฑ์การล้างจากลูกค้าทุกครั้ง (2) การจัดท่าระเบียบปฏิบัติการล้างทำความสะอาดกระบะทอด (3) การฝึกอบรมพนักงาน (4) ลดปริมาณการใช้น้ำยาล้างภาชนะลง (5) ลดขั้นตอนการฉีดไล่ของขั้นตอนการล้าง (6) เปลี่ยนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) จากข้อเสนอแนะตามทางเลือกเทคโนโลยีสะอาดที่นำมาปฏิบัติสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการล้างทำความสะอาดกระบะทอดได้ 11,868 บาทต่อการเปิดล้างเครื่องซึ่งสอดคล้องกับหลักเทคโนโลยีสะอาดด้วยวิธีการดำเนินงานลดของเสียที่

แหล่งกำเนิดโดยการปรับปรุงเทคโนโลยี และการบริหารดำเนินการของกระบวนการผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูป

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้แนวทางในการลดของเสียในกระบวนการผลิตโรงงานเบหมีกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้หลักเทคโนโลยีสะอาด ด้วยการศึกษารวบรวมข้อมูล วิเคราะห์หาสาเหตุของการสูญเสียวัตถุดิบและทรัพยากร และลดของเสียที่แหล่งกำเนิดในกระบวนการผลิตโรงงานผลิตเบหมีกึ่งสำเร็จรูป ตลอดจนได้ข้อเสนอแนะวิธีการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตย่อย เพื่อลดการใช้ทรัพยากรและลดปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต พร้อมทั้งนำเสนอแนะที่สามารถปฏิบัติได้ทันทีไปประยุกต์ใช้ ซึ่งจากการศึกษาหาสาเหตุของการเกิดของเสียและการสูญเสียสรุปได้ว่าเกิดของเสียและเกิดการสูญเสียจากการล้างอุปกรณ์ร้อยละ 99.65 ต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ 32,745 กิโลกรัม ผู้วิจัยได้ประเมินหาสาเหตุการสูญเสียในขั้นตอนการผลิตย่อยพบว่า ขั้นตอนการผลิตย่อยการทอด การนึ่ง และการเป่าเย็นมีการสูญเสียทรัพยากรน้ำไปกับการล้างอุปกรณ์และเครื่องจักร และการล้างทำความสะอาดไม่มีเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพหลังการล้าง ทำให้พนักงานต้องใช้น้ำปริมาณมากในการล้างทำความสะอาด ผู้วิจัยเสนอให้ประชุมร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อแสดงความคิดเห็นในการนำไปสู่ข้อสรุปแนวทางการปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการผลิตย่อย ได้ข้อสรุปแสดงความคิดเห็นคือ ติดตั้งปั๊มน้ำที่สามารถควบคุมการเปิดปิดที่ปลายท่อได้ทันที จัดท่าระเบียบปฏิบัติขั้นตอนการล้าง สร้างเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพการล้าง ฝึกอบรมพนักงาน และเปลี่ยนเครื่อง Heat Exchanger ผลศึกษาการปฏิบัติตามข้อเสนอแนวทางการปรับปรุง พบว่า (1) ผลการฝึกอบรมพนักงาน พนักงานมีความตระหนักเรื่องการใช้น้ำมากขึ้นร้อยละ 80 (2) กำหนดเกณฑ์การตรวจสอบประสิทธิภาพการล้างและจัดท่าระเบียบปฏิบัติขั้นตอนการล้าง สามารถลดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานได้อ้อยละ 100 (3) ลดปริมาณการใช้น้ำยาล้างภาชนะลงสามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาล้างภาชนะได้อ้อยละ 69.57 (4) การจัดลำดับการล้างประเภทของเสียที่ปรากฏบนภาชนะและอุปกรณ์ ลดปริมาณการใช้น้ำลงได้อ้อยละ 14.63 (5) ลดขั้นตอนการฉีดไล่สิ่งตกค้างในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้อ้อยละ 3.57 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการล้างตามข้อกำหนดของลูกค้า (6) การเปลี่ยนเครื่อง Heat Exchanger ทำให้ลดปริมาณการใช้น้ำได้อ้อยละ 41.46 ลดปริมาณการใช้น้ำยาล้างภาชนะได้อ้อยละ 69.57 ลดระยะเวลาการทำงานได้อ้อยละ 28.57 และลด

ค่าใช้จ่ายให้ผู้รับเหมาได้ร้อยละ 100 ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้จำนวน 11,868 บาทต่อการเปิดล้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

งานวิจัยนี้จึงนำไปสู่ข้อเสนอแนะที่ดีและเหมาะสมที่สุดสำหรับการลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพการล้างทำความสะอาดในกระบวนการผลิตเบหมิกิ้งสำเร็จรูป เนื่องจากการประยุกต์ใช้แนวทางเลือกเทคโนโลยีสะอาด สามารถลดต้นทุนการผลิต และระยะเวลาในการปฏิบัติงานได้ อีกทั้งยังสามารถนำไปต่อยอดในการลดของเสียในส่วนของการผลิตอื่นๆ ของโรงงานได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร และผู้บริหาร ฝ่ายบริหาร หัวหน้างาน และพนักงานโรงงานเบหมิกิ้งสำเร็จรูป ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนข้อมูล อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิลาสินีนันต์วิทย์, ปัจจัยทางการตลาดกับการเลือกซื้อเบหมิกิ้งสำเร็จรูปของชาวพม่าในประเทศไทย, วารสารวิจัยและพัฒนายาลอยลงกรรมในพระบรมราชูปถัมภ์สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2560
- [2] กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ (ฉบับปรับปรุง), พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ; หจก. เอ็มแอนด์เอ็ม เลเซอร์ปรีนต์, 2553
- [3] เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, ข้อมูลจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน> (วันที่สืบค้น 15 สิงหาคม 2562)

การประเมินความดันออกแบบของถังแก๊สหุงต้มด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Design Pressure Assessment of LPG Cylinders by Finite Element Method

ประศัลน์ บุญเพชร¹, พงษ์ศักดิ์ ตันวีระชัยสกุล², นันทน์นิชา ม่วงทอง³,
ศิวัช สิริพิพงศ์^{4*}, สิริพิพงษ์ โลวีวรรณ⁵

ห้องปฏิบัติการทดสอบทางฟิสิกส์ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยาบางปู

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

ซอย 1C นิคมอุตสาหกรรมบางปู ถนนสุขุมวิท ตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ 10280

siva@tistr.or.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาวิเคราะห์ความดันออกแบบของถังแก๊สหุงต้มขนาด 4 กิโลกรัม ที่ออกแบบโดยอ้างอิงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.27-2543 การวิเคราะห์ความดันออกแบบจะใช้สมการวิเคราะห์แก๊จอยท์ปัญหา โดยใช้ความดันทดสอบที่ 3.30 เมกะพาสคัล ที่ความหนาผนังถังแก๊ส 2.20 มิลลิเมตร มีการประเมินแนวโน้มการกระจายตัวของความเค้นด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลการประเมินความดันออกแบบสูงสุดพบว่าค่าที่ได้คือ 284 เมกะพาสคัล ซึ่งไม่เกินค่าความแข็งแรงครากซึ่งมีค่า 300 เมกะพาสคัล ถังแก๊สจึงไม่เสียรูปและมีความปลอดภัยในการนำมาใช้งานที่สภาวะปกติ

คำสำคัญ: ถังแก๊สหุงต้มขนาด 4 kg, เหล็กเกรด SG 295, ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

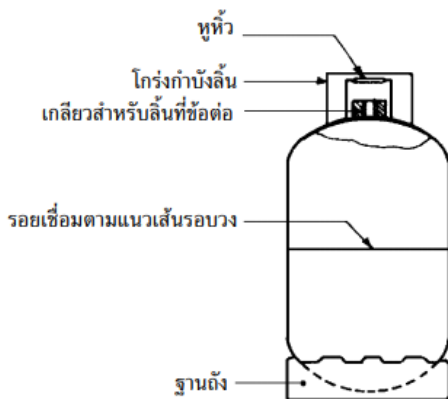
Abstract

This research aims to analyze the design pressure of a 4 kg LPG cylinder, which is designed according to TIS 27-2543 standard. Analysis of test pressure 3.30 MPa at 2.20 mm wall thickness was verified by Finite Element Method for considerate trend of stress distribution. The assess result shown that 284 MPa, not exceeding 300 MPa, yield strength. It is safe to use at normal conditions.

Keywords: 4 kg LPG Cylinder, SG 295 Steel, Finite Element Method

1. บทนำ (Introduction)

ถังแก๊ส LPG ขนาด 4 กิโลกรัม ดังแสดงในภาพที่ 1 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานอุตสาหกรรม 27-2543 บังคับเนื่องจากเป็นภาชนะรับแรงดันส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งานโดยตรง LPG มีองค์ประกอบเป็นแก๊สโพรเพนและแก๊สบิวเทนผสมกันอยู่ จะเป็นอัตราส่วนเท่าใดก็ได้ ซึ่งในบางครั้งอาจจะใช้แก๊ส โพรเพนหรือบิวเทนเพียงอย่างเดียว แต่ในประเทศไทย แก๊ส LPG ที่เข้ามาจากการผสมแก๊สโพรเพน 70 ส่วน ต่อ บิวเทน 30 ส่วน ซึ่งส่วนใหญ่ได้มาจากการแยกแก๊สธรรมชาติและการแยกน้ำมันดิบในโรงกลั่นน้ำมัน การนำ LPG มาใช้ ต้องนำมาอัดใส่ลงถังเพื่อความสะดวกในการขนส่งเช่นเดียวกับ NGV แต่ LPG จะอยู่ในสถานะของเหลว เมื่อได้รับความร้อนเปลี่ยนสถานะเป็นไอจะเกิดการขยายตัวของปริมาตรกว่า 250 เท่าของสถานะของเหลว จึงมีการบรรจุเพียง 85% ของภาชนะบรรจุ การเลือกใช้วัสดุทำถังแก๊ส LPG จึงต้องคำนึงถึง ความแข็งแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรงคราก ความสามารถในการยืดตัว และความแข็งแรงของลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมประกอบ โดยปกติความดันใช้งานสูงสุดของถังแก๊สคือ 1.65 เมกะพาสคัล และแรงดันทดสอบคือ 2 เท่าของแรงดันใช้งานสูงสุด [1]. เพื่อให้ข้อมูลที่ได้อาจจากการคำนวณความดันออกแบบตามมาตรฐานอุตสาหกรรมนำเชื่อถือจึงใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ลักษณะการกระจายความเค้นด้วย ซึ่งผลการทดสอบควรสอดคล้องกับลักษณะกายภาพของถังงานจริง



ภาพที่ 1 ภาพสเก็ตช์ถังแก๊สหุงต้มใน มอก.27-2543

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ศึกษาข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์ค่าความดันออกแบบ ได้แก่ ชนิดของเหล็กที่ใช้ขึ้นรูปถังแก๊ส ค่าความ

แข็งแรงดึงสูงสุด ค่าความแข็งแรงคราก ค่า%การยืดตัว เส้นผ่านศูนย์กลาง รูปร่างและความหนาของผนังถัง ขั้นตอนการทดสอบถังแก๊ส [1-8] จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของถังแก๊สหุงต้มขนาด 48 กิโลกรัมด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วย SW Simulation โดยความดันใช้งานสูงสุดของถังแก๊สคือ 1.65 เมกะพาสคัล มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดให้ความดันทดสอบต้องเป็นสองเท่าของความดันใช้งานสูงสุด ดังนั้นความดันทดสอบต้องใช้ 3.3 เมกะพาสคัล เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่วัดได้คือ 229.4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในที่วัดได้คือ 225 มิลลิเมตร ความหนาผนังถึง 2.20 มิลลิเมตร ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักคือ

- 1.เขียนแบบถังแก๊สส่วนผนังถังรับแรงดัน โดยกำหนดวัสดุเป็นเหล็กเกรด SG 295
- 2.กำหนดเงื่อนไขขอบเขตจุดจับยึดบริเวณหูหิ้วและฐานถัง
- 3.กำหนดภาระความดันทดสอบที่ 3.3 เมกะพาสคัล
- 4.กำหนดรูปร่างเอลิเมนต์และความละเอียดตามความเหมาะสมและสั่งการโปรแกรมให้ทำการวิเคราะห์ผล

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการศึกษาพบว่า เหล็กที่ใช้ขึ้นรูปผนังถังแก๊ส คือ เหล็กแผ่นเกรด SG 295 ตามมาตรฐาน JIS G 3116 มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 และสมบัติเชิงกลดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กเกรด SG 295

Element	Composition (%)
C	0.20
Si	0.35
Mn	1.00
P	0.04
S	0.04

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของเหล็กเกรด SG 295

Materials	SG 295
Yield Strength (MPa)	300
Tensile Strength (MPa)	440
Elongation ((%)	26%

ค่าความดันออกแบบสูงสุดหาได้จากสมการที่ 1

$$\sigma_{\max} = \frac{Ph(D-t)}{(0.6)2000 Jt} \quad (1)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{(3300)(229.4 - 2.20)}{(0.6)2000(1)(2.20)}$$

$$\sigma_{\max} = 284 \text{ MPa}$$

ค่าความดันออกแบบต่ำสุดหาได้จากสมการที่ 2

$$\sigma_{\min} = \frac{Ph(D-t)}{(0.9)2000 Jt} \quad (2)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{(3300)(229.4 - 2.20)}{(0.9)2000(1)(2.20)}$$

$$\sigma_{\min} = 189.3 \text{ MPa}$$

ค่าความดันระเบิดหาได้จากสมการที่ 3

$$P_b = \frac{f_b \times 2t}{d} \quad (3)$$

$$P_b = \frac{418(2)(2.2)}{225}$$

$$P_b = 8.17 \text{ MPa}$$

นิยาม

$\sigma_{\max}$ คือ ความดันออกแบบสูงสุด หน่วย เมกะพาสคัล

$\sigma_{\min}$ คือ ความดันออกแบบต่ำสุด หน่วย เมกะพาสคัล

d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน หน่วย มิลลิเมตร

t คือ ความหนาผนังถัง หน่วย มิลลิเมตร

P_h คือ ความดันทดสอบ หน่วย กิโลพาสคัล

P_b คือ ความดันระเบิด หน่วย กิโลพาสคัล

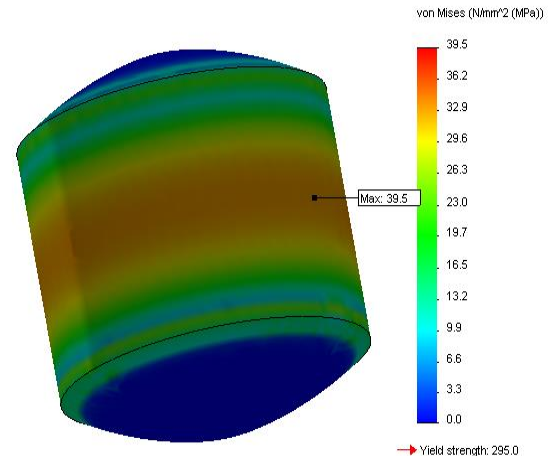
D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก หน่วย มิลลิเมตร

J คือ ตัวประกอบรอยเชื่อมต่อ คือ 1 (กรณีถึง 2

ตอน)

4. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในภาพที่ 2 พบว่าที่ภาวะความดันทดสอบ 3.3 เมกะพาสคัล ความเค้นที่ผนังถังมีแนวโน้มขยายตัวตามแนววงแหวน โดยบริเวณกึ่งกลางถังเป็นบริเวณเข้มข้นความเค้น และการกระจายตัวของความเค้นมีทิศทางที่ชัดเจน คือกระจายตัวตามแนวยาวของถัง และวงจรอบความเค้นมีค่าความเค้นลดลงตามระยะห่างจากจุดกึ่งกลางถัง



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์แนวโน้มการกระจายตัวของความเค้นในถังแก๊ส LPG ขนาด 4 Kg

5. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาพบว่าค่าความดันออกแบบสูงสุดและต่ำสุดมีค่า 284 เมกะพาสคัล และ 189.3 เมกะพาสคัลตามลำดับ ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดและค่าความแข็งแรงครากของวัสดุ SG 295 คือ 440 เมกะพาสคัลและ 300 เมกะพาสคัล ตามลำดับ และความดันระเบิดมีค่า 8.17 เมกะพาสคัล ที่ความหนาผนังถังแก๊ส 2.20 มิลลิเมตร โดยบริเวณเข้มข้นความเค้นที่วิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์คือตำแหน่งกึ่งกลางถัง มีค่าไม่สูงกว่าค่าความแข็งแรงครากนั้นหมายถึงค่าความดันออกแบบสูงสุดและต่ำสุดอยู่ในโซนปลอดภัยที่เงื่อนไขสภาวะการทำงานปกติ

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับความอนุเคราะห์ทวนสอบผลการวิเคราะห์จาก ผศ.ชัยยุทธ มีงาม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และ รศ.ดร.ประวิทย์ ไตรวัฒน์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Ashok T., and Harikrishna A., "Analysis of LPG

- Cylinder Using Composite Materials", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, Vol.9.2, 2013
- [2] Bandpatte S., Shede K., Chavan R., Katkar N., Kamanna B., and Jose B., "Design of Gas Cylinder using Composite Material as per ASME Standards", Global Journal of Enterprise Information System, Vol.9.1, 2017
- [3] Kiran C., and Sruthi J., "Design and Finite Element Analysis of Domestic LPG Cylinder using ANSYS Workbench", CVR Journal of Science and Technology, Vol.14, 2018
- [4] Kumar A., and Chandrakar M., "Design and Analysis of a Composite Cylinder for the Storage of Liquefied Gases", International Journal for Scientific Research & Development, Vol.5.3, 2017
- [5] Mocketta M., and Shukla M., "Design Procedure of Composite LPG Cylinder", International Journal of Instrumentation, Control and Automation, Vol.1.3, 2012
- [6] Siddiqui A., Ramakrishna A., and Lal P., "Review on liquefied petroleum gas cylinder design and manufacturing process as per INDIAN", International Journal of Advanced Engineering Technology, Vol.4.2, 2018
- [7] Somaiah A., Sarat G., and Rao U., "Design Procedure of Composite LPG Cylinder", International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, Vol.5.11, 2016
- [8] Tom A., Geo P., George J., Jacob J., and Mathew J., "Design analysis of LPG Cylinder", International Journal of Engineering and Apply Sciences, Vol.6.2, 2014

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนโดยใช้ แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดปทุมธานี Assessment of the Impact of Climate Change on Rainfall using Regional Climate Models in case of Pathum Thani Province, Thailand

เดชพล จิตรัตน์กุลศิริ¹

¹ หลักสูตรการจัดการภัยพิบัติและบรรเทาสาธารณภัย

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 13180

detchphol@vru.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ เป็นการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของพื้นที่จังหวัดปทุมธานี ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ซึ่งจำลองภูมิอากาศอนาคตโดยใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCM) ECHAM4 และ ECHAM5 โดยคัดเลือกสภาพภูมิอากาศภายใต้สถานการณ์ที่ก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูง ตามข้อกำหนด IPCC (SRES Scenario) ในอนาคต 3 รูปแบบ ได้แก่ A2 (ECHAM4), B2 (ECHAM4) และ A1B (ECHAM5) จากการศึกษาโดยสถาบัน Southeast Asia START Regional Center (START) โดยการศึกษาได้ใช้ข้อมูลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 และในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 ที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS และทำการวิเคราะห์หาค่าปรับแก้ค่าความเอนเอียงของผลการคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง PRECIS โดยเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ฝนจากแบบจำลอง PRECIS กับข้อมูลฝนที่ตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา ณ ตำแหน่งที่สอดคล้องกันของข้อมูลช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 ใน Scenario A2, B2 และ A1B ภายหลังปรับแก้มีความคลาดเคลื่อนลดลง 23.78%, 19.92% และ 12.97% ตามลำดับ และนำค่าปรับแก้ที่วิเคราะห์ได้จากช่วงปีฐานมาใช้ปรับแก้ค่าความเอนเอียงของข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงปีอนาคตระหว่างปี พ.ศ. 2560-2609 ซึ่งนำไปใช้วิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตของลุ่มน้ำ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของลุ่มน้ำเจ้าพระยาแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.23%, 10.64% และ 2.89% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 สำหรับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูฝน แบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูฝนในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.07%, 10.03% และ 7.18% ตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูแล้ง แบบจำลอง PRECIS Scenario A2 และ B2 คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูแล้งในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 2.29% และ 14.58% ตามลำดับ แต่แบบจำลอง PRECIS Scenario A1B คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูแล้งในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มลดลง -25.09%

คำสำคัญ (Key word): ปริมาณน้ำฝน; การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ; จังหวัดปทุมธานี; แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ส่งผลกระทบต่อและมีความรุนแรง เช่น ฤดูกาลของโลกเปลี่ยนแปลงไป เกิดภัยพิบัติที่มีความรุนแรงขึ้น เป็นต้น โดยส่วนหนึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกส่งผลให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นในระดับที่ผิดปกติเรียกว่าภาวะโลกร้อน ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศดังจะเห็นได้จากข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ได้ยืนยันว่าอุณหภูมิในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในอ่าวไทยมีแนวโน้มสูงขึ้น และอีกหนึ่งผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงไปคือปริมาณน้ำฝนในประเทศไทย

พื้นที่จังหวัดปทุมธานีมีสภาพภูมิประเทศทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา มีความสูงของพื้นที่เฉลี่ยประมาณ 2.30 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีแม่น้ำเจ้าพระยาไหลผ่านบริเวณกลางพื้นที่ ทำให้พื้นที่จังหวัดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ฝั่งตะวันตกหรือฝั่งขวาของแม่น้ำเจ้าพระยาและฝั่งตะวันออก หรือฝั่งซ้ายแม่น้ำเจ้าพระยา โดยมีระบบคลองชลประทานต่างๆ และคลองส่งน้ำชลประทานที่ขุดใหม่เชื่อมต่อถึงกัน เป็นโครงข่ายทั้งภายในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี และจังหวัดอื่นๆที่ต่อเนื่อง จึงทำให้จังหวัดปทุมธานี มักได้รับผลกระทบจากภาวะน้ำท่วมขังเป็นประจำเฉลี่ยปีละประมาณ 1 ครั้ง ในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม-ธันวาคม ลักษณะของอุทกภัยดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดจากฝนตกหนักในพื้นที่ และผลกระทบจากแม่น้ำเจ้าพระยามีปริมาณน้ำมากและมีระดับน้ำสูง เป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำจากลำน้ำสาขาต่างๆ ลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ทำให้เกิดการท่วมขังในพื้นที่ลุ่มทั่วไป หรือในบางปีแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับน้ำสูงมากจนล้นตลิ่งและคันป้องกันน้ำท่วมเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มเป็นบริเวณกว้าง

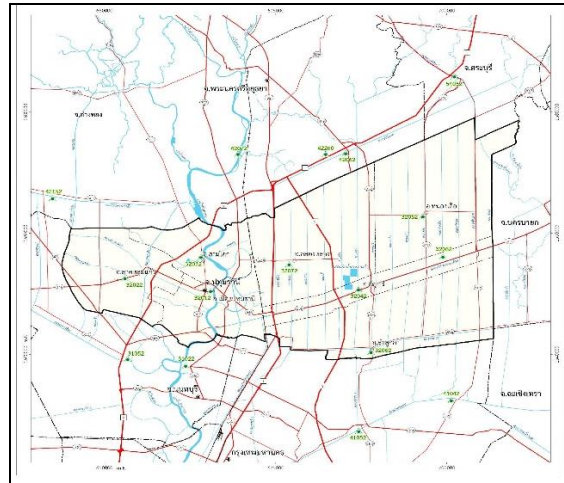
การศึกษาลักษณะผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นการวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ซึ่งจำลองภูมิอากาศอนาคตโดยใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (GCM) ECHAM4 และ ECHAM5 โดยคัดเลือกภาพฉายภูมิอากาศภายใต้สถานการณ์ที่ก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงตามข้อกำหนด IPCC (SRES Scenario) ในอนาคต 3 รูปแบบ ได้แก่ A2 (ECHAM4), B2 (ECHAM4) และ A1B (ECHAM5) ใช้ข้อมูลการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2529-2558 และนำค่าปรับแก้ที่วิเคราะห์ได้มาใช้ปรับแก้ค่าความเอนเอียงของข้อมูลปริมาณ

น้ำฝนจากแบบจำลองในช่วงปีอนาคตระหว่างปี พ.ศ. 2560-2609

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การศึกษาการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำฝนโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค กรณีศึกษาพื้นที่จังหวัดปทุมธานี มีรายละเอียดดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนรายวันที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝน สถานีวัดน้ำฝนรายวันของกรมกรมอุตุนิยมวิทยาที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา และมีข้อมูลปริมาณน้ำฝนในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2528-2559 มีจำนวน 23 สถานี ซึ่งได้ถูกนำมาตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Double mass curve



ภาพที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดน้ำฝนรายวันของกรมอุตุนิยมวิทยา

2) ตรวจสอบค่าความเอนเอียง (Bias) ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Probability ของปริมาณน้ำฝนแบบรายปีและรายเดือนของปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B กับปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งเดียวกันที่ผ่านการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลจำนวน 20 สถานี ในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 โดยใช้วิธีการแจกแจงความถี่แบบกัมเบล (Gumbel distribution) เพื่อตรวจสอบความเอนเอียงของปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario

3) วิเคราะห์หาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนในแต่ละเดือนในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 ของข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่

คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B และข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดได้จริงจาก สถานีวัดน้ำฝนของแต่ละสถานี

4) คัดเลือกค่าปรับแก้ ณ ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนที่มีค่า Root Mean Square (RMSE) ผลลัพธ์ของค่าปรับแก้ ณ ตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน จะถูกนำมาคำนวณหาค่าปรับแก้ เฉลี่ยรายเดือนเชิงพื้นที่ในแต่ละกริดขนาด 20 กม. x 20 กม. โดยประยุกต์ใช้วิธีสถิติเชิงพื้นที่ เพื่อนำไปใช้ปรับแก้ข้อมูล ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario นำค่าปรับแก้ที่ได้ คูณกับข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายวันในแต่ละกริดขนาด 20 กม. x 20 กม. ที่คาดการณ์ได้ จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 เพื่อเป็นตัวแทนข้อมูล ปริมาณน้ำฝนในอนาคต

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N \times N_t} \sum_{t=1}^{N_t} \sum_{i=1}^{N_t} (P_{i,t} - G_{i,t})^2}$$

โดย $P_{i,t}$ คือ ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2,B2 และ A1B ก่อนปรับแก้ หรือ หลัง ปรับแก้ด้วยค่าปรับแก้ (G/P) รายเดือนที่สถานีวัดน้ำฝน i ณ เวลา t (มม./วัน)

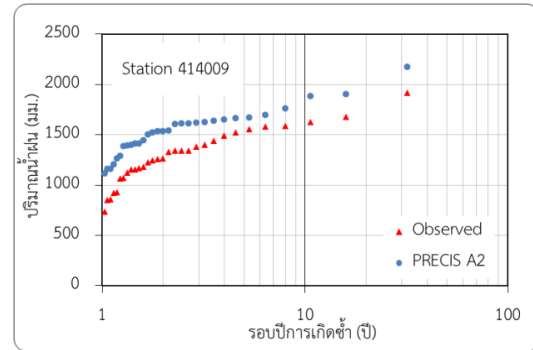
$G_{i,t}$ คือ ปริมาณฝนจากสถานีวัดน้ำฝน i เวลา t (มม./วัน)

N คือ จำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมดที่ใช้

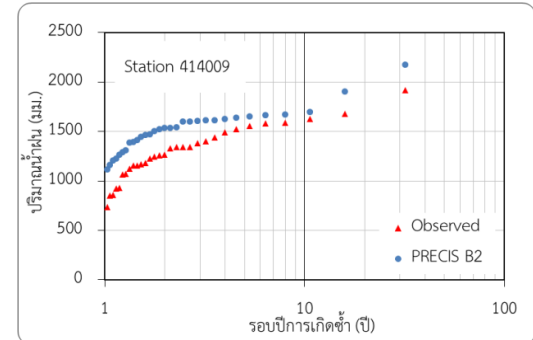
N_t คือ ช่วงเวลาของปริมาณน้ำฝน (วัน)

3. ผลการวิจัย (Results)

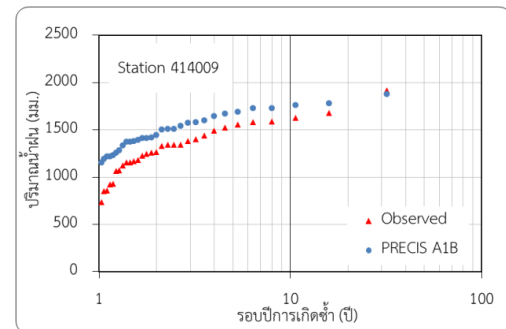
ผลการตรวจสอบความน่าเชื่อถือข้อมูลปริมาณน้ำฝน รายวันของสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 23 สถานีที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำ เจ้าพระยา พบว่าผ่านเกณฑ์การตรวจสอบความน่าเชื่อถือ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนทั้งหมด 20 สถานี และไม่ผ่านเกณฑ์การ ตรวจสอบ 3 สถานี และผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างค่า Probability ของปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้ จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario กับปริมาณน้ำฝนที่ ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งเดียวกัน แบบ ปริมาณน้ำฝนรายปี รายเดือนมกราคม (ฤดูแล้ง) และราย เดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) ของสถานี 414009



(ง) Scenario A2



(ข) Scenario B2



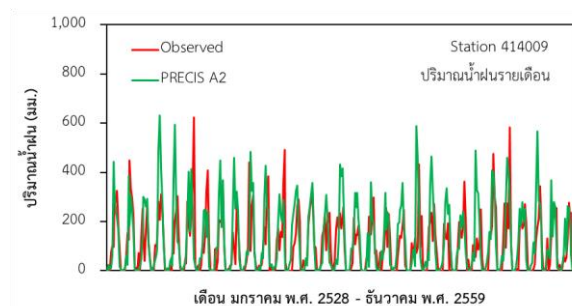
(ค) Scenario A1B

ภาพที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Probability ของ ปริมาณน้ำฝนรายปีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS กับปริมาณน้ำฝนรายปีจากสถานีวัดน้ำฝน ณ สถานี 414009

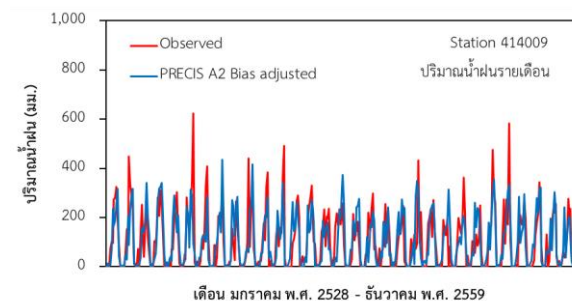
จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Probability ของ ปริมาณน้ำฝนรายปีและรายเดือนที่คาดการณ์ได้จาก แบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ภายหลัง ปรับแก้ กับปริมาณน้ำฝนรายปีและรายเดือนที่ตรวจวัดได้ จากสถานีวัดน้ำฝน ณ ตำแหน่งเดียวกัน ในช่วงปี พ.ศ. 2528-2559 พบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีและรายเดือนที่ คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario ภายหลังปรับแก้มีค่าความเอนเอียงลดลง โดยเฉลี่ยปริมาณ น้ำฝนรายปีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ภายหลังปรับแก้ (ก่อนปรับแก้) มีค่าเท่ากับ 1,057 มม. (1,324 มม.), 1,098 มม. (1,310 มม.) และ 1,100 มม. (1,238 มม.) ตามลำดับ

ปริมาณน้ำฝนรายปีที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,064 มม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถลดความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำฝนรายปีและรายเดือนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ของทั้ง 3 Scenario ได้ โดยปริมาณน้ำฝนรายปีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ภายหลังปรับแก้มีความคลาดเคลื่อนลดลง 23.78%, 19.92% และ 12.97% ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าภายหลังการปรับลดความคลาดเคลื่อนแล้ว โดยเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario มีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนมากยิ่งขึ้นโดยค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนที่วิเคราะห์ได้ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าปรับแก้เชิงพื้นที่โดยการประยุกต์ใช้วิธีสถิติเชิงพื้นที่ในการคำนวณหาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนในแต่ละกริดขนาด 20 กม. x 20 กม. เพื่อใช้ปรับแก้ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 สำหรับนำไปใช้ต่อไป

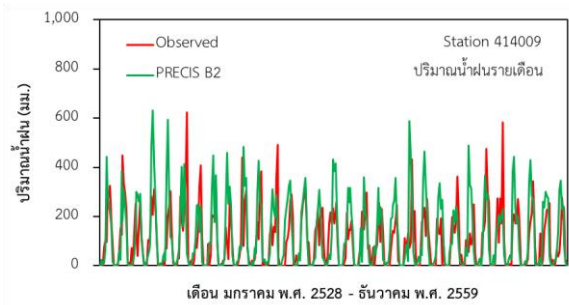


(ก) ก่อนปรับแก้

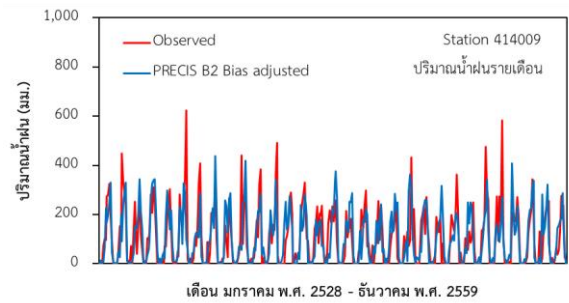


(ข) หลังปรับแก้

ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2 ก่อนและหลังปรับแก้

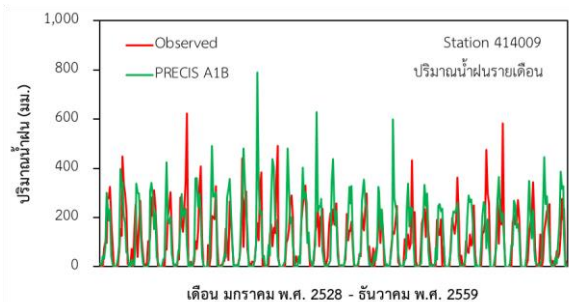


(ก) ก่อนปรับแก้

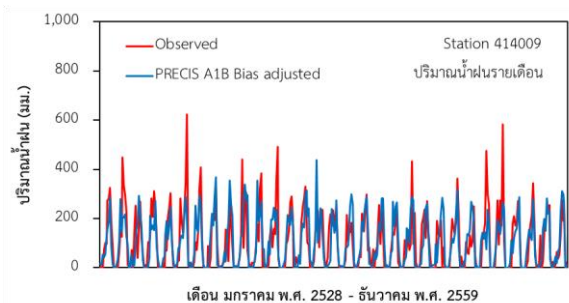


(ข) หลังปรับแก้

ภาพที่ 4 ตัวอย่างการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario B2 ก่อนและหลังปรับแก้



(ก) ก่อนปรับแก้

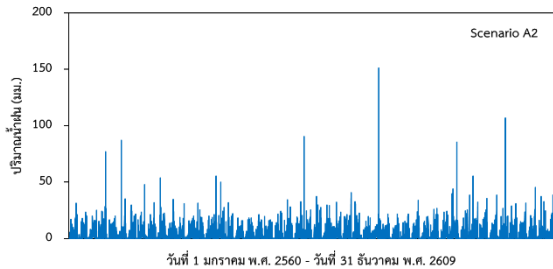


(ข) หลังปรับแก้

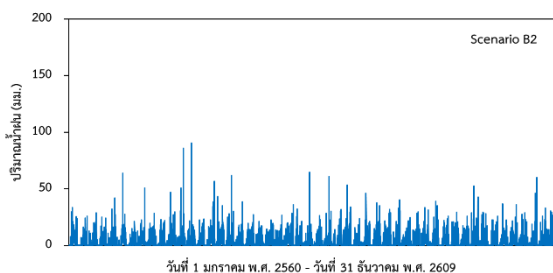
ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A1B ก่อนและหลังปรับแก้

การวิเคราะห์ค่าปรับแก้เชิงพื้นที่ การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์หาค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนเชิงพื้นที่ของแต่ละเดือนในแต่ละกริดขนาด 20 กม. x 20 กม. เพื่อใช้ปรับแก้

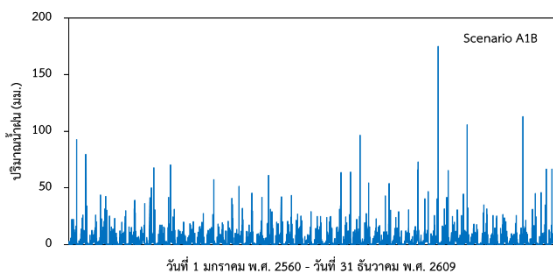
ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 โดยประยุกต์ใช้วิธีสถิติเชิงพื้นที่ในโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วยวิธี Kriging (P. Goovaerts, 1997) ผลการวิเคราะห์ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนเชิงพื้นที่ของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา แสดงตัวอย่างของเดือนมกราคม (ฤดูแล้ง) และ สิงหาคม (ฤดูฝน)



ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยคาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2 หลังปรับแก้ ในอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2560-2609



ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยคาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario B2 หลังปรับแก้ ในอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2560-2609



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยคาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario B2 หลังปรับแก้ ในอนาคตช่วงปี พ.ศ. 2560-2609

ผลการวิเคราะห์ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนเชิงพื้นที่สำหรับใช้ปรับแก้ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario แสดงให้เห็นว่าผลกระทบเนื่องจากอิทธิพลของลักษณะภูมิประเทศและช่วงเวลาที่แตกต่างกันส่งผลให้ค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนของแต่ละเดือน ณ ตำแหน่งพื้นที่และช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีค่าปรับแก้

เฉลี่ยรายเดือนที่ต่างกัน ซึ่งค่าปรับแก้เฉลี่ยรายเดือนในแต่ละกริดที่วิเคราะห์ได้นี้ถูกนำไปใช้ปรับแก้ปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS ทั้ง 3 Scenario ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 เพื่อนำมาวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตช่วง 50 ปี

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 โดยเทียบกับปริมาณน้ำฝนในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 ที่ตรวจวัดได้จากสถานีวัดน้ำฝน

ลำดับที่	ชนิดปริมาณน้ำฝน	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 เทียบกับช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528 – 2559		
		Scenario A2	Scenario B2	Scenario A1B
1	เฉลี่ยรายปี	+1.23	+10.64	+2.89
2	เฉลี่ยช่วงฤดูฝน	+1.07	+10.03	+7.18
3	เฉลี่ยช่วงฤดูแล้ง	+2.29	+14.58	-25.09

4. สรุปผล (Conclusion)

จากการศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนในอนาคตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของจังหวัดปทุมธานีแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B ในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.23%, 10.64% และ 2.89% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 สำหรับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูฝน แบบจำลอง PRECIS Scenario A2, B2 และ A1B คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูฝนในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 1.07%, 10.03% และ 7.18% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559 ส่วนปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูแล้ง แบบจำลอง PRECIS Scenario A2 และ B2 คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูแล้งในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 2.29% และ 14.58% ตามลำดับ แต่แบบจำลอง PRECIS Scenario A1B คาดการณ์ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยช่วงฤดูแล้งในช่วงปีอนาคต พ.ศ. 2560-2609 มีแนวโน้มลดลง -25.09% เมื่อเทียบกับในช่วงปีฐาน พ.ศ. 2528-2559

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ปีงบประมาณ

2562 ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะผู้ทรงคุณวุฒิทั้งจาก ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ และจากภายนอก รวมทั้งหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดทำงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, ข้อมูล http://www.onep.go.th/download/Draft_tccmasterplan_20131101.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 มีนาคม 2562)
- [2] กันตริย์ บุญประกอบ, เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก, ข้อมูลจาก <http://nutrition.anamai.moph.go.th> (วันที่ค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2562)

7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [1] IPCC., " Climate Change 2007 : The Physical Science Basis, Contribution of Working Group, I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, 2007
- [2] Jonathan et al., "Dengue fever epidemic potential as projected by general circulation model of global climate change." Environmental Health Perspectives, 2017
- [3] Pathompong J., Carbide Evaluation and Improvement , Sustainable University Printing, 2016
- [4] Trisurat et al., Projecting forest tree distributions and adaption to climate change in northern Thailand, Journal of Ecology and Natural Environment, 2017

การศึกษาแนวทางการบริหารคุณภาพการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ด้วยหลักการ 4M
กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด
Study guidelines for managing the quality of large building construction using 4M
principles a case study of the construction of a large building in Roi Et Province

ปฏิการ โยชนไยสาร¹, ปริณญ์ บุญกนิษฐ²

¹ฝ่ายแบบก่อสร้าง บริษัทสยาม มัลติ คอน จำกัด

¹ฝ่ายบริหาร บริษัท พีซีบี คอนสตรัคชั่น ดรออิง จำกัด

Patikarn2@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

Prin.b@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการบริหารคุณภาพก่อสร้างในเขตจังหวัดร้อยเอ็ด ด้วยแนวคิด 4 M (Man, Machine, Material, Method) ด้วยการศึกษาข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย ผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ สถาปนิกโครงการ โฟร์แมน ผู้รับเหมาช่วง และผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง ทั้งในด้านกำลังคน วิธีการทำงาน เครื่องมือเครื่องจักร และวัสดุในการก่อสร้าง ในเขตจังหวัดร้อยเอ็ด จำนวน 5 โครงการ จากประชากรทั้งสิ้น 200 คน จากการหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม โดยใช้หลักการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง สูตรของ ทาโร่ ยามาเน่ และสูตรของ เครซี่และมอร์แกน จนได้กลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมและทำการวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ภาพรวมของระดับปฏิบัติการในการบริหารคุณภาพของผู้ประกอบการ ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง ในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด อยู่ในระดับมาก เมื่อจำแนกรายด้านพบว่า ด้านที่สามารถควบคุมการบริหารคุณภาพได้มากที่สุดคือ การบริหารคุณภาพในเรื่องการดำเนินการ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.02 รองลงมาคือด้านที่สามารถบริหารคุณภาพได้ในระดับมาก ได้แก่ ผู้รับเหมาช่วง ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.95 วัสดุ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.85 แรงงาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.28 และเครื่องมือเครื่องจักร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.22 ตามลำดับ อีกทั้งผลการวิจัยยังพบอีกว่า สถานภาพโดยทั่วไปของบริษัท มีผลอย่างมากต่อความสำเร็จในการบริหารจัดการคุณภาพในการก่อสร้างอีกด้วย

คำสำคัญ: การบริหารคุณภาพ, การก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่, หลักการ 4M, ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง

Abstract

The objective of this research is to study the effect on the construction management in Roi Et Province With concepts 4 M (Man, Machine, Material, Method). The study of data from a sample size are consist of project managers, project engineers, architects, foreman, subcontractors and involved persons in Roi Et Province with 5 pilot projects. The population are 200 people and it was calculated to find the sample size by using the calculation method of Taro Yamane and Krejcie & Morgan. Then, the sample group consisted of 145 people were used to collect data via research questionnaire with full scale 1-10. The research found that the most important factor is the control quality management at 8.02 score and follow by the total subcontractor with score 7.95. after that is the material cost with 6.85, the labor score is 6.28 and lastly is the average equipment cost with 6.22 score respectively. The research also found that the company general status is a large impact on the success of business construction quality management.

Key word: Quality management, large-scale building construction, 4M principles, construction business

1. บทนำ (Introduction)

ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจไทย และเป็นอุตสาหกรรมที่นำไปสู่การพัฒนาประเทศ ในด้านการพัฒนา และการลงทุนของประเทศ ทั้งยังมีความเชื่อมโยงกับธุรกิจการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ ซึ่งการก่อสร้างของประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ภาค คือ ภาครัฐบาลและภาคเอกชน งานก่อสร้างของภาครัฐส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างพื้นฐานในการพัฒนาประเทศ ได้แก่ ไฟฟ้า ประปา โทรศัพท์ ถนน ทางด่วน ทางรถไฟ และบริการของรัฐต่าง ๆ เพื่อให้ประชาชนมีความสะดวกในการดำรงชีวิต ส่วนภาคเอกชนจะเน้นการก่อสร้างที่อยู่อาศัย อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงานและโรงงานอุตสาหกรรม [1]

ในปี 2561 มีสิ่งก่อสร้างที่เป็นอาคารโรงงาน ที่ได้รับอนุญาตให้ก่อสร้างและต่อเติมหรือดัดแปลง รวมพื้นที่ทั้งสิ้น 66.2 ล้านตารางเมตร โดยเป็นการได้รับอนุญาตให้ก่อสร้างและต่อเติมหรือดัดแปลงอาคารเพื่ออยู่อาศัย 40.2 ล้านตารางเมตร (ร้อยละ 60.8) สำหรับอาคารโรงงานประเภทอื่น ๆ นอกเหนือจากอาคารเพื่ออยู่อาศัย ได้รับอนุญาตให้ก่อสร้างเป็นพื้นที่รวม 26.0 ล้านตารางเมตร (ร้อยละ 39.2) [2] การทำธุรกิจรับเหมาก่อสร้างจะขึ้นกับอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการบริหารคุณภาพในการก่อสร้าง

ในสภาวะการณปัจจุบันธุรกิจรับเหมาก่อสร้างมีการแข่งขันสูง นับวันยิ่งทวีความเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของการประมูลงาน การตัดราคา การเผชิญหน้ากับผู้รับเหมารายใหญ่ ส่งผลให้เกิดการประมูลราคาต่ำจากบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ และราคา ในระหว่างก่อสร้างหากปรากฏว่ามีต้นทุนค่าใช้จ่ายเกินกว่ารายการตามบัญชีแสดงปริมาณวัสดุ จะก่อให้เกิดการขาดสภาพคล่องทางการเงิน ย่อมส่งผลให้งานล่าช้าสะสมจนส่งผลกระทบถึงการบริหารโครงการ และเกิดภาวะขาดทุนในที่สุด [3]

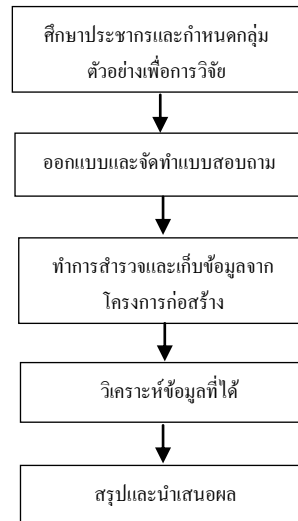
จากแนวทางและปัญหาดังกล่าว จึงเป็นผลให้เกิดความมุ่งหมายที่จะทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาแนวทางการบริหารคุณภาพการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ด้วยหลักการ 4M กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด เพราะปัจจัยหลักการ 4M มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการก่อสร้างได้ ซึ่งมีรายละเอียดปัจจัยในแต่ละกลุ่ม ดังนี้

1. ทรัพยากรมนุษย์ (Man)
2. วิธีปฏิบัติงาน (Method)
3. วัสดุ (Material)
4. เครื่องจักร (Machine)

ด้วยความมุ่งหวังของผลการวิจัยที่จะทำให้ได้รับรู้แนว

ทางการบริหารคุณภาพงานก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ส่งผลให้เกิดความพึงพอใจของลูกค้า และเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการประกอบธุรกิจรับเหมาก่อสร้างให้เกิดประสิทธิภาพอย่างยั่งยืนมากยิ่งขึ้นต่อไป

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)



รูปที่ 1 ขั้นตอนวิธีดำเนินการวิจัย

จากการสำรวจโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด ได้กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 5 โครงการ ได้แก่ โครงการก่อสร้างหอชมเมือง โครงการก่อสร้างอาคารหอประชุม โครงการก่อสร้างอาคารพักอาจารย์แพทย์ โครงการก่อสร้างอาคารวิทยาศาสตร์สุขภาพ และโครงการก่อสร้างที่ทำการสำนักงานที่ดินจังหวัด ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ผู้จัดการโครงการ วิศวกรโครงการ สถาปนิกโครงการ โฟร์แมน ผู้รับเหมาช่วง และผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะงานที่ปฏิบัติได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มผู้ออกแบบ
2. กลุ่มผู้ควบคุมงานและบริหารโครงการ
3. กลุ่มผู้รับเหมาก่อสร้าง

จากการศึกษาข้อมูลประชากรจาก organization และใบลงเวลาการทำงาน ในโครงการก่อสร้างได้ข้อมูลประชากรจำนวน 200 คน ผู้วิจัยใช้วิธีการศึกษาวิจัยเชิงสำรวจ โดยใช้แบบสอบถาม และแบบสัมภาษณ์ จำนวน 200 คน ได้ผลตอบกลับ 145 คน ประชากรกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เทียบจากสูตรของเครซีและมอร์แกน คำนวนได้กลุ่มตัวอย่าง 131 คน และสูตรของ ทาโร่ ยามาเน่ คำนวนได้ตัวอย่าง 133 คน ดังนั้นจำนวนแบบสอบถามที่ตอบกลับมาจำนวน 145 คน อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

สูตรการหากลุ่มตัวอย่างประชากร เครซีและมอร์แกน

$$n = \frac{x^2 np(1-p)}{e^2 (N-1) + x^2 p(1-p)} \quad (1)$$

กำหนดให้

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

E = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

X^2 = ค่าไคสแควร์ที่ df เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95% ($X^2 = 3.841$)

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร ($p=0.50$)

แทนค่าสูตร

$$n = \frac{3.841 \times 200 \times 0.5(1-0.5)}{0.05^2 (200-1) + 3.841 \times 0.5(1-0.5)} \quad (2)$$

n = 131.44 ได้กลุ่มตัวอย่าง = 131 หน่วย

สูตรการหาขนาดกลุ่มตัวอย่างประชากร ทาโร ยามาเน

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (3)$$

กำหนดให้

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

N = ขนาดของประชากร

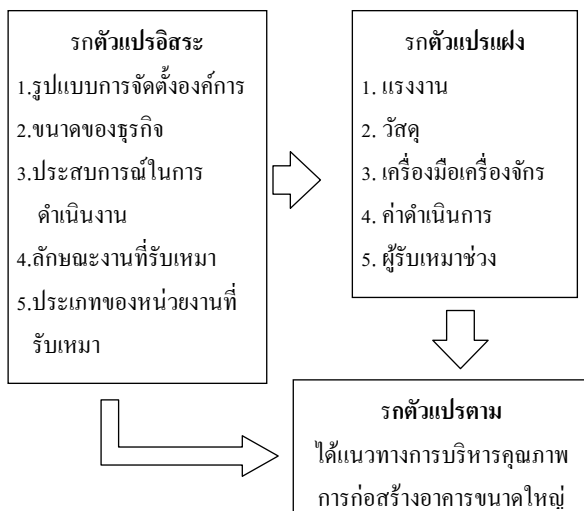
E = ความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

แทนค่าสูตร

$$n = \frac{200}{1 + 200(0.05)^2} \quad (4)$$

n = 133.33 ได้กลุ่มตัวอย่าง = 133 หน่วย

โดยการวิจัยครั้งนี้ กำหนดกรอบการวิจัยไว้ ดังนี้



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอนได้แก่
1. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบคำถาม เป็น

แบบสอบถามแบบเลือกตอบ

2. แบบสำรวจความคิดเห็นเกี่ยวกับระดับปฏิบัติในการควบคุมต้นทุนด้านต่าง ๆ ของผู้ประกอบการรับเหมาก่อสร้างมีน้ำหนักแบ่งเป็น 10 ระดับ

คะแนน 8.01-10 ระดับปฏิบัติ มากที่สุด

คะแนน 6.01-8.00 ระดับปฏิบัติ มาก

คะแนน 4.01-6.00 ระดับปฏิบัติ ปานกลาง

คะแนน 2.01-4.00 ระดับปฏิบัติ น้อย

คะแนน 0.00-2.00 ระดับปฏิบัติ น้อยที่สุด

3. แบบสอบถามแบบปลายเปิด เพื่อให้ผู้ตอบคำถามแสดงความคิดเห็นข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับแนวทางการบริหารคุณภาพการก่อสร้างของผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างเขตพื้นที่ จังหวัดร้อยเอ็ด ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม คือ นำข้อมูลทั่วไปมาทำการหาค่าร้อยละ และค่าความถี่ ค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการวิเคราะห์การศึกษาแนวทางการบริหารคุณภาพการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ด้วยหลักการ 4M กรณีศึกษาโครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดโดยรวม และรายด้าน ดังนี้

ตารางที่ 1 สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการบริหารคุณภาพการก่อสร้าง

ลำดับ	ปัจจัย	ร้อยละ
1	วัสดุ (Material)	17.80
2	แรงงาน (Labor)	19.41
3	เครื่องจักร (Machine)	17.63
4	ค่าดำเนินการ (Operating)	22.73
5	ผู้รับเหมาช่วง (Sub-Contractor)	22.44

1. การนำเสนอเกี่ยวกับข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ทั้ง 5 โครงการ รายละเอียดแสดงตามตารางที่ 2 ตารางที่ 2 จำนวนและร้อยละ ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย (n=5)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
1. รูปแบบการจัดตั้งบริษัท		
- ห้างหุ้นส่วนจำกัด	2	40
- บริษัทจำกัด	3	60
2. ทุนจดทะเบียน		
- 10 ล้าน ถึง 50 ล้าน	1	20
- 50 ล้าน ถึง 100 ล้าน	3	60
- มากกว่า 100 ล้าน	1	20
3. ประสบการณ์ในการดำเนินงาน		
- น้อยกว่า 10 ปี	1	20
- 10 ถึง 30 ปี	1	20
- มากกว่า 30 ปี	3	60

4. ลักษณะงานที่รับเหมาเป็นหลัก		
- งานเกี่ยวกับอาคาร	5	100
- งานเกี่ยวกับทางหลวง, ภูมิทัศน์	0	0
5. ประเภทของหน่วยงานที่รับเหมาเป็นหลัก		
- ราชการ	5	100
- เอกชน	0	0
6. มูลค่างานที่รับเหมาในรอบปีที่ผ่านมา		
- 1-10 ล้านบาท	1	20
- 10-100 ล้านบาท	1	20
- มากกว่า 100 ล้านบาท	3	60
7. อัตราผลกำไรสุทธิต่อต้นทุนเฉลี่ยร้อยละเท่าใด		
ต่ำกว่าร้อยละ 10	0	0
มากกว่า ร้อยละ 10	5	100
8. มีแผนควบคุมต้นทุนก่อสร้างแยกโดยเฉพาะหรือไม่		
- มี	3	60
- ไม่มี	2	40
9. มีพนักงานที่ทำหน้าที่รับผิดชอบ เฉพาะ งานตรวจรับวัสดุ		
- มี	5	100
- ไม่มี	0	0
10. มีการตรวจนับจำนวนหรือปริมาณของวัสดุที่ได้ทำการเก็บรักษาอยู่ไม่ไว้ในห้องสต็อกหรือที่แจ้ง อย่างสม่ำเสมอหรือไม่		
- สม่ำเสมอสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	5	100
- สม่ำเสมอเดือนละ 1 ครั้ง	0	0
11. มีการเช็คและควบคุมการเบิกจ่ายใช้หรือไม่		
- มี	5	100
- ไม่มี	0	0
12. พนักงานที่ตรวจเช็คการปฏิบัติงานของพนักงาน และจดบันทึกจำนวนชั่วโมงการทำงานจริงของพนักงานคือ		
- โฟร์แมน	5	100
- ไม่มีมีการจดบันทึก ใช้วิธีตอบตกลงเวลา	0	0
13. มีการตรวจเช็คผลงานในสนามเพื่อหาปริมาณงานที่คนงานบริษัททำ ได้หรือไม่		
- มี	5	100
- ไม่มี	0	0
14. พนักงานที่เป็นคนตรวจเช็คผลงานในสนาม คือ		
- วิศวกรสนาม	3	60
- โฟร์แมน	2	40
- หัวหน้าคนงาน	0	0
15. มีการจัดทำรายงานสรุปด้านแรงงาน ของโครงการทุก ๆ		
กัวัน		
- 15 วัน	5	100
- 30 วัน	0	0
16. เครื่องจักรส่วนใหญ่ที่ใช้งานในแต่ละโครงการ เป็น		
เครื่องจักรที่		
- เป็นของบริษัทเองทั้งหมด	0	0
- ส่วนใหญ่เป็นของบริษัท มีบางส่วนที่เช่ามา	1	20
- ส่วนใหญ่จะเช่ามา	3	60
- เช่ามาทั้งหมด	1	20
17. มีการตรวจเช็คปริมาณงานที่เครื่องจักรทำงานได้จริงหรือไม่		
- มี	5	100
- ไม่มี	0	0
18. มีการทำรายงานสรุปการเบิกใช้น้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักร		
ทุก ๆ กัวัน		
- 15 วัน	2	40
- 30 วัน	3	60

19. การดูแลรักษา และการควบคุมการเบิกจ่ายวัสดุตามข้อ		
18		
- พนักงานสตอร์	2	40
- ฝ่ายเครื่องกล	3	60
20. ในวันหนึ่งๆ มีการกำหนดเวลาทำงานปกติของเครื่องจักรหรือไม่		
- มีกำหนดแน่นอน แล้วแต่ชนิดของเครื่องจักร	2	40
- มีกำหนดแน่นอนเฉพาะเครื่องจักรเช่า	3	60
21. โดยส่วนใหญ่บริษัทของท่าน มีการจ้างผู้รับเหมาช่วงแบบใดบ้าง		
- จ้างผู้รับเหมาช่วงที่รับเหมาเฉพาะค่าแรง	3	60
- จ้างผู้รับเหมาช่วงที่รับเหมาทั้งค่าแรง และค่าวัสดุทั้งหมด	1	20
- จ้างผู้รับเหมาช่วงแยกตามประเภทของงาน	1	20
22. มีการกำหนดรอบระยะเวลาที่จะตรวจสอบผลงานของผู้รับเหมาช่วง		
- 15 วัน	4	80
- 30 วัน	1	20
- ไม่มีกำหนดแน่นอน	0	0

จากตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย ทั้ง 5 โครงการ ส่วนใหญ่พบว่าการจัดตั้งบริษัท ในรูปแบบการจดทะเบียน เป็นบริษัทจำกัด ทุนจดทะเบียน 50 ล้านบาท ถึง 100 ล้านบาท มีประสบการณ์ในการดำเนินงานก่อสร้างมากกว่า 30 ปี โดยรับเหมางานจากหน่วยงานราชการเป็นหลักมีมูลค่างานที่รับเหมาในรอบปีที่ผ่านมา ส่วนใหญ่ราคาก่อสร้างมากกว่า 100 ล้านบาท มีอัตราผลกำไรสุทธิต่อต้นทุนเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 10 มีการแยกแผนกควบคุมต้นทุนการก่อสร้างโดยเฉพาะ โดยมีพนักงานที่รับผิดชอบงานตรวจรับวัสดุโดยตรง มีการตรวจนับจำนวนและปริมาณของวัสดุที่เก็บรักษาอยู่ ในห้องสตอร์ สม่ำเสมอความถี่สัปดาห์ละ 1 ครั้ง มีการเช็คและควบคุมการเบิกจ่ายและตรวจสอบปริมาณวัสดุที่ใช้ไปตามผลงานที่ทำจริง โดยมีโฟร์แมนและวิศวกรโยธา เป็นผู้ตรวจสอบเวลาในการปฏิบัติงานของพนักงาน มีความถี่ในการทำรายงานสรุปด้านแรงงาน ทุก 15 วัน ส่วนใหญ่เครื่องจักรที่ใช้ทำงานในแต่ละโครงการ จะเป็นการเช่า มีการทำรายงานสรุปการเบิกใช้น้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักร ทุก 30 วันโดยมีฝ่ายเครื่องกลเป็นคนดูแล และบำรุงรักษาเครื่องจักร มีการกำหนดระยะเวลาการทำงานของเครื่องจักรเฉพาะที่เช่ามา ส่วนมากแล้วบริษัทมีการจ้างผู้รับเหมาช่วงที่รับเหมาเฉพาะค่าแรง และมีการตรวจสอบระยะเวลาการทำงานของผู้รับเหมาช่วงทุก 15 วัน

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระดับปฏิบัติการในการบริหารคุณภาพด้านต่าง ๆ ของผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างเขตพื้นที่ จังหวัดร้อยเอ็ด รายละเอียด แสดงตามตารางที่ 3 โดยใช้สูตร ได้ดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = \frac{\text{ผลรวมของค่าของข้อมูลทั้งหมด}}{\text{จำนวนข้อมูลทั้งหมด}} \quad (5)$$

ถ้ากำหนดให้ μ แทนค่าเฉลี่ยของประชากร

$\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

N แทนจำนวนข้อมูลในประชากร

n แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

Σ แทนการรวมกัน

x_i แทน ข้อมูลตัวที่ i

จะได้สูตรการคำนวณค่าเฉลี่ยดังนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยของประชากร} \quad \mu = \frac{\sum x}{N} \quad (6)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง} \quad \bar{X} = \frac{\sum x}{n} \quad (7)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นการวัดการกระจายรอบค่าเฉลี่ย เป็นค่าเฉลี่ยของการกระจายของข้อมูลจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดนั้น ซึ่งใช้สูตร ได้ดังนี้

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

$$S = \sqrt{\frac{n \sum (x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (8)$$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum [x^2]}{N} - \left\{ \frac{\sum x}{N} \right\}^2} \quad (9)$$

เมื่อ s คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง

σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

X คือค่าของข้อมูลแต่ละตัว

$\bar{X}$ แทนค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง

μ คือค่าเฉลี่ยของประชากร

N แทนจำนวนข้อมูลในประชากร

n แทนจำนวนข้อมูลในกลุ่มตัวอย่าง

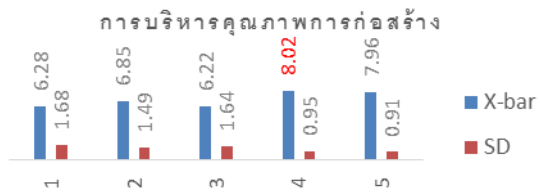
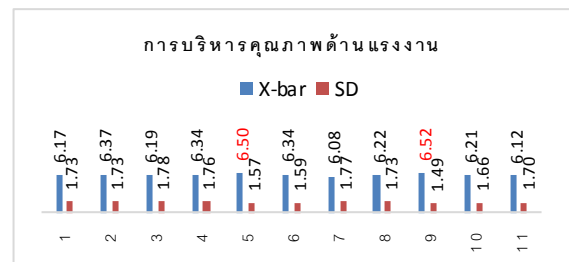
โดยผลการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการวิจัยแสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านต่าง ๆ จำแนกรายด้าน

ที่	การบริหาร คุณภาพการ ก่อสร้าง	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)	ระดับ ปฏิบัติการ
1	แรงงาน	6.28	1.68	มาก
2	วัสดุ	6.85	1.49	มาก
3	เครื่องมือ เครื่องจักร	6.22	1.64	มาก
4	ค่าดำเนินการ	8.02	0.95	มากที่สุด
5	ผู้รับเหมาช่วง	7.95	0.91	มาก
	ภาพรวม	7.07	1.33	มาก

ตารางกราฟที่ 1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านต่าง ๆ



จากตารางที่ 2 และตารางกราฟที่ 1 พบว่าภาพรวมของระดับปฏิบัติการในการบริหารคุณภาพของผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด อยู่ในระดับมาก คิดเป็นร้อยละ 7.07 เมื่อจำแนกรายด้านพบว่าด้านที่สามารถควบคุมการบริหารคุณภาพได้มากที่สุด คือคุณภาพด้านการดำเนินการ คิดเป็นร้อยละ 8.02 รองลงมาคือด้านที่สามารถควบคุมการบริหารคุณภาพได้ในระดับมาก ได้แก่ คุณภาพผู้รับเหมาช่วง คุณภาพวัสดุ คุณภาพแรงงาน และคุณภาพเครื่องมือเครื่องจักร ตามลำดับ

3. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระดับปฏิบัติการในการควบคุมต้นทุน ด้านต่าง ๆ จำแนกรายข้อ และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการบริหารคุณภาพด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านแรงงาน จำแนกรายข้อ

ที่	การบริหารคุณภาพด้าน แรงงาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับ ปฏิบัติการ
1	จัดหาหัวหน้างานที่มีความ รับผิดชอบและไว้วางใจได้	6.17	1.72	มาก
2	มีการวางแผนการปฏิบัติงาน ของแต่ละฝ่ายอย่างชัดเจนมี	6.37	1.73	มาก
3	ให้สิทธิในการตัดสินใจกับ หัวหน้างาน	6.19	1.78	มาก
4	มีการจัดสรรหัวหน้ากลุ่มงาน ย่อย	6.34	1.76	มาก
5	ใช้เทคนิคการสอนงานให้กับ แรงงานระดับกรรมกร	6.50	1.57	มาก
6	ใช้แรงงานจากต่างพื้นที่ เช่น แรงงานต่างด้าว	6.34	1.59	มาก
7	มีการจัดบันทึกข้อมูลด้าน แรงงาน	6.08	1.77	มาก

8	จัดที่พักให้คนงานอยู่บริเวณ สถานที่ทำงาน	6.22	1.73	มาก
9	การใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่ ทันสมัยแทนกำลังคน	6.52	1.49	มาก
10	ใช้แรงงานระดับกรรมกร เฉพาะเพศชาย	6.21	1.66	มาก
11	มีการสรุปผลการใช้แรงงาน และปัญหาที่เกิดขึ้น	6.12	1.70	มาก
ภาพรวม		6.28	1.68	มาก

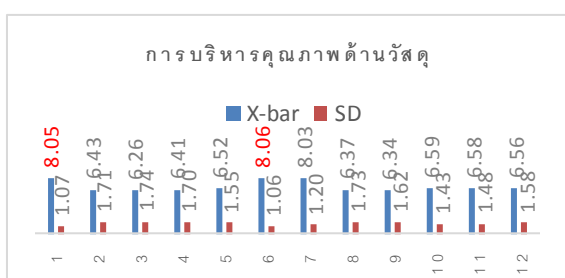
ตารางกราฟที่ 2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านแรงงาน

3.1 จากตารางที่ 4 และตารางกราฟที่ 2 การบริหาร
คุณภาพด้านแรงงาน อยู่ในระดับมาก กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่
ให้ความเห็นว่า การใช้เครื่องมือเครื่องจักรที่ทันสมัยแทน
กำลังคน $\bar{x} = \frac{945}{145} = 6.52$ รองลงมา คือ การใช้เทคนิค
การสอนงานให้กับแรงงานระดับกรรมกร
 $\bar{x} = \frac{942}{145} = 6.50$ ตามลำดับ

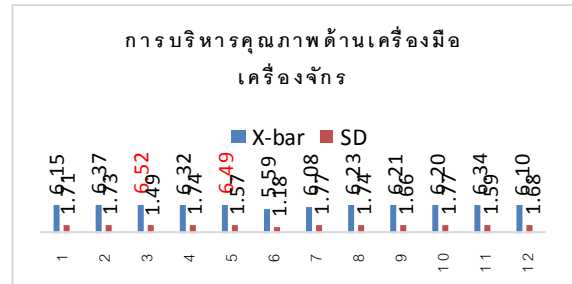
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก
ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านวัสดุ จำแนกรายข้อ

ที่	การบริหารคุณภาพด้าน วัสดุ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับ ปฏิบัติการ
1	มีการติดตามราคาวัสดุ ก่อสร้างอย่างต่อเนื่อง	8.05	1.07	มากที่สุด
2	ใช้วัสดุที่มีการผลิตจาก บริษัทภายในประเทศ	6.43	1.71	มาก
3	ใช้วัสดุจากบริษัทขนาดใหญ่ ที่มีชื่อเสียง	6.26	1.74	มาก
4	มีการจัดสรรหัวหน้ากลุ่มงาน ย่อย	6.41	1.70	มาก
5	ซื้อวัสดุด้วยเงินสด	6.52	1.55	มาก
6	มีการควบคุมการใช้วัสดุให้ ใช้อย่างประหยัดและคุ้มค่า	8.06	1.06	มากที่สุด
7	มีการสั่งซื้อวัสดุจากบริษัทที่ จำหน่ายโดยตรง	8.03	1.20	มากที่สุด
8	มีการจัดเก็บวัสดุที่สามารถ ใช้ได้หลายงาน	6.37	1.73	มาก
9	มีการสั่งซื้อวัสดุจากร้านค้า เจ้าประจำ	6.34	1.62	มาก
10	วางแผนการจัดหาและจัดซื้อ วัสดุ	6.59	1.43	มาก
11	ซื้อวัสดุจำนวนมากในคราว เดียว	6.58	1.48	มาก
12	มีการตรวจสอบคุณภาพและ มาตรฐานวัสดุที่ซื้อมา	6.56	1.58	มาก
ภาพรวม		6.85	1.49	มาก

ตารางกราฟที่ 3 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
จากระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านวัสดุ



3.2 จากตารางที่ 5 และตารางกราฟที่ 3 การบริหาร
คุณภาพด้านวัสดุ อยู่ในระดับมาก กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ให้



ความเห็นว่าการควบคุมการใช้วัสดุให้ใช้อย่างประหยัดและ
คุ้มค่า อยู่ในระดับมากที่สุด $\bar{x} = \frac{1169}{145} = 8.06$
รองลงมา คือ การติดตามราคาวัสดุก่อสร้างอย่าง
ต่อเนื่อง $\bar{x} = \frac{1167}{145} = 8.05$ ตามลำดับ

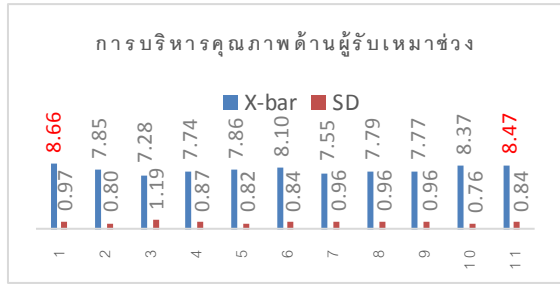
ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับ
ปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านเครื่องมือเครื่องจักร
จำแนกรายข้อ

ที่	การบริหารคุณภาพ เครื่องมือเครื่องจักร	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	ระดับ ปฏิบัติการ
1	มีการซื้อเครื่องมือและ เครื่องจักรใหม่สำหรับใช้งาน	6.15	1.71	มาก
2	ซื้อเครื่องมือและเครื่องจักร จากบริษัทที่มีการรับประกัน	6.37	1.73	มาก
3	ซื้อเครื่องมือและเครื่องจักรที่ สามารถใช้งานได้ดี	6.52	1.49	มาก
4	ซื้อเครื่องจักรและเครื่องมือที่ มีบริการหลังการขาย	6.32	1.74	มาก
5	มีแผนการบำรุงรักษา เครื่องมือเครื่องจักร	6.49	1.57	มาก
6	มีการอบรมช่างผู้ควบคุม เครื่องมือและเครื่องจักรให้ ใช้งานอย่างถูกวิธี	5.59	1.18	ปานกลาง
7	มีการใช้เครื่องมือและ เครื่องจักรแบบหมุนเวียน	6.08	1.77	มาก
8	มีการเลือกศูนย์ซ่อม เครื่องมือเก่าที่ไว้ใจได้	6.23	1.74	มาก
9	มีช่างซ่อมเครื่องมือและ เครื่องจักรของบริษัท	6.21	1.66	มาก
10	มีแผนการจัดหาและการใช้ เครื่องจักร	6.20	1.77	มาก
11	มีการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ เครื่องจักร	6.34	1.59	มาก
12	มีการจัดทำใบเบิกวัสดุที่ใช้ กับเครื่องจักร	6.10	1.68	มาก
ภาพรวม		6.22	1.64	มาก

ตารางกราฟที่ 4 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านเครื่องมือเครื่องจักร

3.3 จากตารางที่ 6 และตารางกราฟที่ 4 การบริหาร
คุณภาพด้านเครื่องมือเครื่องจักร อยู่ในระดับมาก กลุ่ม
ตัวอย่างส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่าการซื้อเครื่องมือและ

เครื่องจักรที่สามารถใช้งานได้ดี $\bar{x} = \frac{946}{145} = 6.52$
รองลงมาคือ มีแผนการบำรุงรักษาเครื่องมือเครื่องจักรอย่าง



เป็นระบบ $\bar{x} = \frac{941}{145} = 6.49$ ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับ
ปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านผู้รับเหมาช่วง จำแนกราย
ข้อ

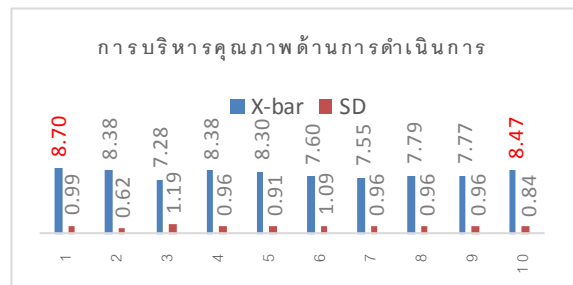
ที่	การบริหารคุณภาพด้านผู้รับเหมาช่วง	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับปฏิบัติการ
1	มีการคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีประวัติการทำงานที่ดีและมีความรับผิดชอบสูง	8.66	0.97	มากที่สุด
2	มีการคัดเลือกผู้รับเหมาช่วงที่มีการวางระบบงานที่ดี	7.85	0.80	มาก
3	เลือกผู้รับเหมาช่วงที่ทำงานร่วมกันเป็นประจำ	7.28	1.19	มาก
4	เลือกผู้รับเหมาช่วงที่เสนอราคาต่ำที่สุด	7.74	0.87	มาก
5	เลือกผู้รับเหมาช่วงที่มีผลงานเป็นที่ยอมรับ	7.86	0.82	มาก
6	มีการทำสัญญากับผู้รับเหมาช่วงอย่างชัดเจน	8.10	0.84	มากที่สุด
7	ให้ผู้รับเหมาช่วงเป็นผู้ดำเนินงานเองทั้งหมด	7.55	0.96	มาก
8	มีการกำหนดรายละเอียดของงานอย่างชัดเจน	7.79	0.96	มาก
9	จัดให้ผู้รับเหมาช่วงและรายรับงานเพียงงานเดียว	7.77	0.96	มาก
10	ติดตามดูแลการดำเนินงานของผู้รับเหมาช่วงเป็นระยะ	8.37	0.76	มากที่สุด
11	การประเมินสรุปผลการทำงาน และปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นใน การดำเนินงาน ฯ	8.47	0.84	มากที่สุด
ภาพรวม		7.95	0.91	มาก

ตารางกราฟที่ 5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านผู้รับเหมาช่วง

3.4 จากตารางที่ 7 และตารางกราฟที่ 5 การบริหาร
คุณภาพด้านผู้รับเหมาช่วง อยู่ในระดับมากที่สุด กลุ่มตัวอย่าง
ส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า การคัดเลือกผู้รับเหมาที่มีประวัติ
การทำงาน ที่ดี และ มี ความ รับผิดชอบ สูง
 $\bar{x} = \frac{1256}{145} = 8.66$ รองลงมา คือการประเมินสรุปผล
การทำงาน และปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นใน การดำเนินงาน

ของผู้รับเหมาช่วง $\bar{x} = \frac{1228}{145} = 8.47$ ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ระดับ



ปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านการดำเนินการ จำแนก
รายข้อ

ที่	การบริหารคุณภาพด้านการดำเนินการ	ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับปฏิบัติการ
1	มีการติดตามข่าวการประกวดราคาอย่างต่อเนื่อง	8.70	0.99	มากที่สุด
2	มีทีมงานวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของงานที่รับเหมา	8.38	0.62	มากที่สุด
3	มีการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานทั้งบริษัทที่ชัดเจน	7.28	1.19	มาก
4	มีการยื่นขอประกวดราคาในงานที่มีความเป็นไปได้ว่าจะได้รับงานนั้น	8.38	0.96	มากที่สุด
5	มีการจัดทำงบประมาณการดำเนินงานตั้งแต่ต้นจนจบโครงการ	8.30	0.91	มากที่สุด
6	มีฝ่ายที่ทำการควบคุมการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ	7.60	1.09	มาก
7	มีข้อมูลการคาดการณ์ค่าใช้จ่าย ต่าง ๆ	7.55	0.96	มาก
8	มีข้อมูลการคาดการณ์กำไร - ขาดทุน	7.79	0.96	มาก
9	แยกหมวดของต้นทุนด้านต่าง ๆ เช่น ต้นทุนแรงงาน	7.77	0.96	มาก
10	มีการจัดทำรายงานสรุปทางด้านทุนก่อสร้าง	8.47	0.84	มากที่สุด
ภาพรวม		8.02	0.95	มากที่สุด

ตารางกราฟที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ระดับปฏิบัติการ การบริหารคุณภาพด้านการดำเนินการ

3.5 จากตารางที่ 8 และตารางกราฟที่ 6 การบริหาร
คุณภาพด้านการดำเนินการ อยู่ในระดับมากที่สุด กลุ่ม
ตัวอย่างส่วนใหญ่ให้ความเห็นว่า การติดตามข่าวการ
ประกวดราคาอย่างต่อเนื่อง $\bar{x} = \frac{1262}{145} = 8.70$
รองลงมา คือการจัดทำรายงานสรุปทางด้านทุนก่อสร้าง
 $\bar{x} = \frac{1228}{145} = 8.47$ ตามลำดับ

4. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการวิจัย เรื่องการศึกษาแนวทางการบริหารคุณภาพ การก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ ด้วยหลักการ 4M กรณีศึกษา โครงการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ เขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด อภิปรายผลได้ ดังต่อไปนี้ พบว่าภาพรวมของระดับปฏิบัติในการบริหารคุณภาพด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับมาก เมื่อจำแนกรายด้านพบว่าด้านที่สามารถควบคุมการบริหารคุณภาพได้ในระดับมากที่สุด คือ ด้านการดำเนินการ รองลงมาคือด้านที่สามารถควบคุมการบริหารคุณภาพได้ในระดับมากได้แก่ ผู้รับเหมาช่วง ด้านวัสดุ ด้านแรงงาน และด้านเครื่องมือเครื่องจักร ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษา ของ ศิริวงศ์ วานงาม (2540) ที่ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาการเก็บข้อมูล เพื่อบริหารเครื่องจักรในงานก่อสร้าง สอดคล้องกับผลการศึกษาของยุทธการ สุทธิเลิศ (2541) ได้ทำการวิจัยเรื่อง กลยุทธ์การดำเนินงานเกี่ยวกับการจัดซื้อวัสดุก่อสร้างในสถานะเศรษฐกิจตกต่ำ โดยทำการวิจัยเกี่ยวกับการเลือกซื้อวัสดุก่อสร้างในปัจจุบันว่ามีการจัดซื้อที่แตกต่างจากอดีตอย่างไร สอดคล้องกับผลการศึกษาของวิโรจน์ แดงวิเชียร (2549) ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาการบริหารงานก่อสร้างในประเทศไทย: ปัญหาและแนวทางการแก้ไข และสอดคล้องกับผลการศึกษา ของดิษฐพงศ์ รัตนโอภา(2555) ที่ทำการวิจัยเรื่อง การควบคุมต้นทุนของผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างในอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการอภิปรายดังกล่าวจะเห็นได้ว่า การประกอบธุรกิจรับเหมาก่อสร้างนั้น การบริหารคุณภาพการก่อสร้างเป็นประเด็นสำคัญมากต่อความพึงพอใจในการรับบริการในธุรกิจก่อสร้างโดยเฉพาะเรื่องการดำเนินการที่ต้องรวดเร็วมีบุคลากรพร้อม มีการใช้วัสดุคุณภาพดี รวมถึงมีการเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ในการก่อสร้างที่ครบถ้วน ประเด็นเหล่านี้มีผลต่อการแข่งขัน ซึ่งหลายบริษัทสามารถดำเนินการได้ในระดับที่ดีมาก เนื่องจากผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง ในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ด มีการแข่งขันสูง ดังนั้นการสร้างกำไรที่สูงขึ้นจึงต้องปรับปรุงประเด็นด้านต่างๆให้มีค่าที่สูงกว่าคู่แข่งและต้องสร้างจุดเด่นจุดแข็งในการแข่งขันอีกด้วย รวมถึงการจัดการภายในที่ต้องมีการวางแผนการทำงานปรับเปลี่ยนการจัดองค์การให้มีความคล่องตัวมากขึ้น มีระบบการเลือกสรรบุคลากรเข้ามาทำงานอย่างมีระบบ มีการตรวจสอบด้านบัญชีและการเงิน ควบคุมระบบการจัดซื้อจัดจ้างที่มีประสิทธิภาพรองรับการลดต้นทุนและการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของปัจจัยภายนอกต่างๆ ที่อาจ

ส่งผลกระทบต่อธุรกิจรับเหมาก่อสร้างได้อย่างครอบคลุม สำหรับการศึกษาด้อยอดในอนาคต งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเชิงลึกถึงแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพ งานก่อสร้าง ด้วย BIM (building information modeling) หรือกระบวนการจำลองการก่อสร้างและบริหารการก่อสร้างในรูปแบบข้อมูล เพื่อสร้างศักยภาพการแข่งขันของธุรกิจก่อสร้างในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบพระคุณคณะผู้จัดการโครงการก่อสร้าง คณะวิศวกรรม รวมถึงสถาปนิกงานก่อสร้าง ในเขตพื้นที่จังหวัดร้อยเอ็ดที่ได้ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุธิรา จันทรา, การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในงานก่อสร้าง พ.ศ.2550-พ.ศ.2556 กรณีศึกษาบริษัทอุดมกิจ วิศวก จำกัด, สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีปทุม, (2556).
- [2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, การประมวลพื้นที่ก่อสร้าง พ.ศ. 2561. กรุงเทพฯ : สำนักงานสถิติและสังคมสำนักงานสถิติแห่งชาติ, (2562).
- [3] ดิษฐพงศ์ รัตนโอภา, การควบคุมต้นทุนของผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างในอำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา, วิทยานิพนธ์ ปริญญา, (2555).
- [4] สุพัตรา วีรปรัชมาเมธ, การวิเคราะห์ระบบการควบคุมต้นทุนในโครงการก่อสร้างขนาดกลาง. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต,จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2545).
- [5] อัมภิกา ศรีบุญเรือง, การควบคุมต้นทุนของผู้ประกอบการธุรกิจรับเหมาก่อสร้างในจังหวัดมหาสารคาม. วารสารการวิจัยการบริหาร การพัฒนา, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, (2559).
- [6] เอกมล ปราบแสนพ่าย, การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนในการรับเหมาก่อสร้างงานอาคารสูง สถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, (2553). บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต การจัดการธุรกิจ, มหาวิทยาลัยทักษิณ
- [7] วุฒิพงศ์ อ่อนศรีสมบัติ, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความล่าช้าในโครงการก่อสร้างอาคาร ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, (2556).

[8] พนม ภัยหน่าย, การบริหารงานก่อสร้าง, กรุงเทพฯ:ส.
เอเชียเพรส, (2538).

[9] ชงชัย สันติวงษ์, การบริหารเชิงกลยุทธ์, กรุงเทพฯ:ไทย
วัฒนาพานิช, (2545)

การออกแบบระบบศูนย์ข้อมูลสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำ Design of Data Centering System for Water Environment Control Plants

สรณัท วงศ์สัมพันธ์¹, อาทิตย์ โสตรโยม²

¹สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

38 ถนนเพชรเกษม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10160

Soranut.won@gmail.com, arthit@ieee.org

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบศูนย์ข้อมูลสำหรับโรงควบคุมคุณภาพน้ำออกแบบขึ้นมาเพื่อการควบคุมคุณภาพการทำงานของเครื่องจักร ที่ใช้เทคโนโลยี 4.0 โดยวิธีการเก็บข้อมูลขณะเครื่องจักรกำลังทำงาน การออกแบบระบบจะใช้วิธีดึงข้อมูลจากอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล ส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง โดยระบบปฏิบัติการจัดเก็บข้อมูลทุก 1 นาที ทำให้ได้ข้อมูลจริง ณ เวลาปัจจุบัน ข้อมูลของเครื่องจักรทุกประเภทภายในโรงควบคุมคุณภาพน้ำจะถูกบันทึก ในระบบภาษามาตรฐานในการเข้าถึงฐานข้อมูล และจะถูกส่งไปยังศูนย์ข้อมูลกลาง เพื่อใช้ในการดำเนินงานของแต่ละส่วนการควบคุมคุณภาพน้ำ โดยศูนย์ข้อมูลกลางจะเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่รวบรวมข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรของทุกโรงควบคุมคุณภาพน้ำรอบกรุงเทพมหานคร ผลการวิจัยพบว่าระบบศูนย์ข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำ แสดงสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่กำลังทำงาน ผู้ดูแลระบบสามารถดูการทำงานของเครื่องจักรผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ทุกสถานที่ และนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรให้ดียิ่งขึ้น เหมาะสำหรับการจัดเก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ภายใต้การดำเนินงานของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ

คำสำคัญ : การออกแบบระบบศูนย์ข้อมูล; โรงควบคุมคุณภาพน้ำ; เทคโนโลยี 4.0 ; ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล

Abstract

This research presents a data centering system for water environment control plants designed for quality control of machine operation using technology 4.0 by means of data collection while the machine is running. System design uses data retrieval methods from storage devices to send data via high speed internet. Operating system stores the data a minute resulting in real-time data. All types of machinery information within the water quality control plant be recorded in the standard language system to access the database. After that they are sent to the central data centering for operating each water quality control section. The central data center is a large database that collects data on the operation of the machines of water environment control plants in Bangkok. The results found that the system shows status the machine operation. The system administrator can view the machine operation via the internet all zones and locations. The use of such information to analyze and increase the efficiency of the machine and work efficiency is achieved. Moreover, system design is suitable for storing data as a large database management under the operation of the water environment control plant.

Key word : Design of Data Centering System; Water Environment Control Plants; Technology 4.0: SQL

1. บทนำ (Introduction)

เนื่องจากปัจจุบันเป็นยุคที่เทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการพัฒนาสิ่งต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน หรือการใช้เทคโนโลยีในการสื่อสาร ผลจากการใช้เทคโนโลยีจะทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ เกิดมูลค่า เกิดความรวดเร็วในการทำงาน รวมทั้งจะช่วยให้ธุรกิจมีโอกาสประสบความสำเร็จมากขึ้น ณ ปัจจุบันโรงควบคุมคุณภาพน้ำบางซื่อได้เปลี่ยนเป็นสำนักการระบายน้ำและศูนย์ป้องกันน้ำท่วม (บางซื่อ) โดยเป็นศูนย์กลางข้อมูล มีหน้าที่รวบรวมข้อมูลผลการปรับปรุงคุณภาพน้ำ จากทุกโรงควบคุมคุณภาพน้ำ เพื่อใช้ในการจัดการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในแม่น้ำลำคลองที่ไหลผ่านกรุงเทพมหานคร และยังเป็นศูนย์ป้องกันน้ำกรุงเทพมหานคร

จากการศึกษาโครงสร้างของระบบศูนย์กลางข้อมูลของโรงควบคุมคุณภาพน้ำขนาดใหญ่ทั้ง 8 แห่งที่อยู่รอบกรุงเทพมหานคร พบว่ามีโครงสร้างที่คล้ายกันทุกขั้นตอนของกระบวนการบำบัดน้ำเสียมีความใกล้เคียงกันมาก จึงสามารถนำข้อมูลมารวมไว้ในที่เดียวกันได้ เพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นฐานข้อมูลวัดผลประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย และใช้พัฒนาปรับปรุงให้สอดคล้องกับนโยบายการจัดการฐานข้อมูลขนาดใหญ่ อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดปัญหาการจัดเก็บข้อมูล โดยข้อมูลจากทุกโรงควบคุมคุณภาพน้ำจะถูกเก็บและบันทึกผลการทำงานของเครื่องจักรในทุกขั้นตอนของการบำบัดน้ำเสียรวมทั้งผลของน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของโรงควบคุมคุณภาพน้ำเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการบำบัดน้ำเสียเดียวกัน

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันยังไม่มีมารวบรวมข้อมูลไปยังศูนย์กลางข้อมูลของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ ส่งผลให้ข้อมูลการบำบัดน้ำยังคงเป็นข้อมูลดิบที่อยู่เฉพาะโรงควบคุมคุณภาพน้ำนั้น ๆ ส่งผลให้ข้อมูลเครื่องจักรและผลการบำบัดน้ำยังคงไม่ถูกพัฒนา ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรบางตัวลดลงและไม่ถูกใส่ใจส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าน้อยลง ทำให้การผลการบำบัดน้ำเสียด้อยลงจากเดิมและไม่เป็นไปตามมาตรฐานการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นการเก็บข้อมูลที่ศูนย์การข้อมูลทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ง่ายขึ้น และการบริหารจัดการง่ายขึ้น สามารถตรวจเช็คข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำ นำไปในการบริหารแต่ละโรงควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในทิศทางเดียวกันทุกโรงควบคุมคุณภาพน้ำในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดงเพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบระบบศูนย์กลางข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังนี้

1. งานวิจัยนี้เพื่อเป็นต้นแบบของการออกแบบระบบศูนย์กลางข้อมูลทั้ง 8 โรงควบคุมคุณภาพน้ำ
2. การเก็บข้อมูลเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ภายในภายหลัง
3. การจัดข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถเรียกใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. การปรับปรุงข้อมูลให้มีความถูกต้องสมบูรณ์อยู่เสมอ
5. การปกป้องข้อมูล จากการทำลาย ลักลอบใช้ หรือแก้ไขโดยมิชอบ รวมทั้งปกป้องข้อมูลจากอุบัติเหตุที่อาจเกิดจากวินาศภัยหรือความบกพร่องภายในระบบคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ทำการศึกษาสภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงควบคุมคุณภาพน้ำ และบันทึกข้อมูล
2. ออกแบบระบบศูนย์ข้อมูลโดยการออกแบบอุปกรณ์ตัวควบคุม ที่ใช้รับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real Time)
3. บันทึกผลการส่งข้อมูลผ่านระบบปฏิบัติการ ในระบบภาษามาตรฐานในการเข้าถึง ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล”

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
2. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการปฏิบัติ
3. วิเคราะห์ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
4. รวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบระบบปฏิบัติการส่งข้อมูลแบบ เรียลไทม์
5. ออกแบบตัวควบคุม โดยใช้โปรแกรม Auto CAD
6. จำลองเชื่อมต่ออุปกรณ์โดยใช้โปรแกรมการจำลองแบบ
7. ทดลองกับอุปกรณ์จริง
8. ประเมินผลการส่งข้อมูล
9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังนี้

1. ประสิทธิภาพในการควบคุมเครื่องจักรเพิ่มมากขึ้น
2. ลดเวลาในการทำงานซ้ำซ้อน
3. ลดความเสียหายของข้อมูลจากวินาศภัย
4. รับส่งข้อมูลเรียลไทม์ทุกที่ด้วยการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต

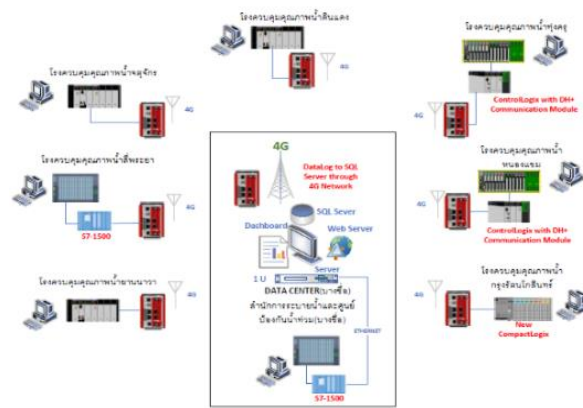
5. รองรับการสั่งงานเครื่องจักรผ่านระบบอินเทอร์เน็ต
- 1.6 คำนิยามศัพท์
- คำนิยามศัพท์มีดังต่อไปนี้
1. ระบบปฏิบัติการ หมายถึงระบบที่ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ตัวควบคุมและชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูล
 2. (Structured Query Language) เป็นภาษามาตรฐานในการเข้าถึง ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ เราสามารถใช้ “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล” หรือระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ในการทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล มาตรฐาน

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ทำการออกแบบตัวควบคุม 1 ชุดภายในตู้จะมีอุปกรณ์รับส่งข้อมูลและประมวลผลข้อมูล โดยสามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมงและสามารถส่งข้อมูลได้แบบเรียลไทม์ จากนั้นจะเริ่มดำเนินการเชื่อมต่อข้อมูลโดยวิธีการจำลองข้อมูล และดำเนินการเชื่อมต่ออุปกรณ์จริงตามลำดับโดยข้อมูลที่นำมาใช้จะถูกบันทึก ในระบบภาษามาตรฐานในการเข้าถึงฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล”

2.1 รายละเอียดโครงสร้าง (Data Centering)

สำนักการระบายน้ำและศูนย์ป้องกันน้ำท่วมมีจุดประสงค์ให้มีระบบรวบรวมข้อมูล จากโรงควบคุมคุณภาพน้ำในจุดต่าง ๆ รอบกรุงเทพฯ โดยมีจำนวน 8 โรงควบคุม เพื่อทำการบันทึกข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต่อการประเมินผลวิเคราะห์ วางแผนงานต่อไปในอนาคต โดยระบบรวบรวมข้อมูลดังกล่าว จะต้องออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบควบคุมเดิมในแต่ละโรงควบคุมคุณภาพน้ำ โดยต้องไม่กระทบต่อการทำงานของระบบควบคุมเดิม เมื่อระบบรวบรวมข้อมูลสามารถเชื่อมต่อกับระบบควบคุมอัตโนมัติในแต่ละโรงควบคุมคุณภาพน้ำ ก็จะต้องสามารถเก็บข้อมูลสำคัญและส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังห้องรวบรวมข้อมูลรวม โดยผ่านการสื่อสารแบบ 4G และนำข้อมูลที่ได้ไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล” เพื่อนำไปใช้ประเมินผล วิเคราะห์ และแสดงเป็นแผนผังต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนงานในอนาคตได้



ภาพที่ 1 โครงสร้างศูนย์ข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำ



ภาพที่ 2 โครงการศูนย์การศึกษา บางซื่อ
(สถานที่รวบรวมข้อมูลการบำบัดน้ำ)

2.2 การออกแบบตัวควบคุม (Design of Controller)

ตัวควบคุม : ขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมที่ใช้รับส่งข้อมูล โดยใช้โปรแกรม “อโต้แคด” ในการออกแบบตัวควบคุม ผู้วิจัยการออกแบบระบบสายไฟที่ใช้ภายในตัวควบคุม จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ไม่เท่ากันและการใช้ประเภทไฟฟ้าก็แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้นว่าต้องการกระแสไฟฟ้ากระแสตรง หรือ กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ ขนาดเท่าใด ผู้วิจัยจะคำนวณจากมาตรฐานขนาดสายไฟ มอก.11-2553 เป็นหลักเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันตลอดงานวิจัย สายที่ใช้เป็นสายไฟที่เกิดควั่นน้อยเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ที่มีมูลค่าสูงภายในตู้เกิดความเสียหายจากการที่สายไฟฟาลัดวงจร ผู้วิจัยใช้สูตรการเลือกสายไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่า I_t ขนาดตัวคูณปรับค่า (C_a , C_g)

C_a : อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

C_g : จำนวนกลุ่มเดินสาย

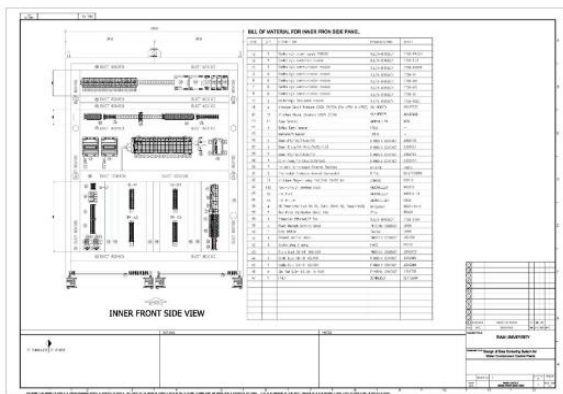
ขนาดกระแสไฟฟ้าที่ต้องการ I_t ตามสมการที่ (1)

$$I_t = I_n / (c_a \times c_g) \quad (1)$$

ได้ออกแบบอุปกรณ์ด้านหน้าและด้านหลังตู้ควบคุมให้มีความทันสมัยและประสิทธิภาพเดียวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่ยาวนานขึ้น ผู้วิจัยติดตั้งระบบแสดงสถานะการทำงานของตู้โดยใช้หลอดไฟแอลอีดี แสดงสถานะอุปกรณ์กำลังทำงานพร้อมทั้งติดตั้งจำนวน 4 ตัว โดยใช้ 2 วงจรควบคุม ลักษณะการทำงานวงจรแรกจะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตู้สูงเกิน 35 องศาเซลเซียส และวงจรที่สองจะทำงานเมื่อวงจรแรกเกิดข้อผิดพลาดเช่นตัวจับอุณหภูมิชุดแรกเสียทำให้พัดลมไม่ทำงานโดยจะส่งสัญญาณไปยังชุดควบคุมที่สองพร้อมแจ้งสถานะการทำงานของพัดลมชุดที่สอง ทำให้ตู้ควบคุมมีระบบระบายความร้อนที่มีประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยเลือกอุปกรณ์ชุดควบคุม ที่สามารถรับ-ส่งสัญญาณได้ทั้งระบบอนาล็อกและดิจิทัล โดยมีเซอร์กิตเบรกเกอร์และไฟเลี้ยงวงจรที่ใช้แปลงกระแสไฟสลับเป็นกระแสไฟตรง มีอุปกรณ์สลับการทำงานกรณีช่องส่งสัญญาณชำรุด มีอุปกรณ์ชุดจัดเก็บข้อมูล อุปกรณ์สำหรับควบคุมวงจรพัดลมและกล่องเก็บสายตัวนำไฟฟ้าขนาดต่าง ๆ

ลักษณะการทำงานของชุดควบคุมชุดแรกสามารถรับข้อมูลจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำโดยรับข้อมูลได้ทั้งสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล แต่ละช่องสัญญาณจะมีระบบอุปกรณ์สำรองเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง หรือช่องสัญญาณเสียจะทำการสลับช่องสัญญาณตัวที่สองอัตโนมัติ สัญญาณที่ถูกส่งมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำผ่านช่องสัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัลจะถูกส่งไปยัง ชุดจัดเก็บข้อมูล จากนั้นจะทำการส่งสัญญาณต่อไปยังระบบ ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล”



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการออกแบบอุปกรณ์ด้วย

โปรแกรมโอโต้แคด

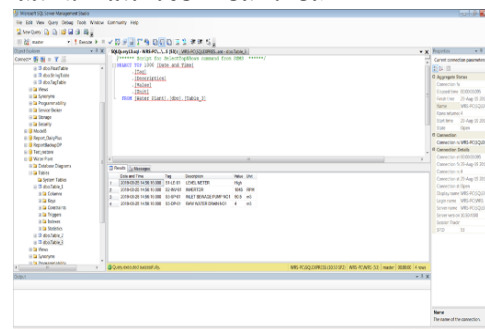


ภาพที่ 4 ตู้ควบคุมที่ใช้สำหรับระบบศูนย์ข้อมูล

รับส่งข้อมูล : กระบวนการเชื่อมต่อโปรแกรมกระบวนการด้านซอฟต์แวร์เป็นกระบวนการที่ผู้วิจัยให้ความสำคัญเป็นอย่างมากเนื่องการเป็นกระบวนการต้นแบบขั้นตอนการดำเนินการวิธีการในการผลักดันข้อมูลจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำเพื่อให้ข้อมูลสามารถนำมาใช้งานเป็นฐานข้อมูลส่วนกลาง รวมทั้งยังเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ที่สามารถดำเนินการค้นคว้าศึกษากระบวนการต่างๆ และนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากปัจจุบันเป็นยุคที่เทคโนโลยีมีความสำคัญต่อการพัฒนาสิ่งต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้เครื่องจักรทำงานแทนคน หรือการใช้เทคโนโลยีในการสื่อสาร ผลจากการใช้เทคโนโลยีจะทำให้เกิดนวัตกรรมใหม่ๆ เกิดมูลค่า เกิดความรวดเร็วในการทำงาน รวมทั้งจะช่วยให้ธุรกิจมีโอกาสประสบความสำเร็จมากขึ้น

ขั้นตอนการจัดการฐานข้อมูลแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1. วิธีการบันทึกไฟล์ข้อมูลจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำ
2. วิธีการเชื่อมต่อโปรแกรมระหว่างโรงควบคุมคุณภาพน้ำไปยังชุดจัดเก็บข้อมูล
3. วิธีการจัดเก็บข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลไปยัง ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ “ไมโครซอฟ เอสคิวแอล”



ภาพที่ 5 ข้อมูลบันทึกลง “Microsoft SQL Server”

3. ผลการวิจัย (Results)

ผลการออกแบบได้ตู้ควบคุมอุปกรณ์ที่ทันสมัยและประสิทธิภาพเดียวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

รูปแบบ “บลูลีนลอจิก” ส่งไปยังชุดจัดเก็บข้อมูล

4. DI (Digital Input) การ์ดทำหน้าที่รับข้อมูล เครื่องจักรประเภทดิจิทัล โดยค่าต่างๆจะเป็นตัวเลขในรูปแบบ “บลูลีนลอจิก” โดยรับข้อมูลมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำ

ตู้ควบคุมที่ผู้วิจัยออกแบบสามารถควบคุมการทำงาน โดยการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสีย โดยรวบรวมความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ส่งไปยังฐานชุดจัดเก็บข้อมูล ทำให้สามารถควบคุมเครื่องจักรเครื่องจักรผ่านฐานข้อมูล “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล”

ผู้วิจัยใช้ระบบอินเทอร์เน็ตส่งข้อมูลจากฐานข้อมูล “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล” ผ่านอุปกรณ์ชุดจัดเก็บฐานข้อมูล ที่ถูกเชื่อมต่อกับชุดควบคุมที่ผู้วิจัยออกแบบ ใช้โปรแกรม “แพคทอรี ทอควิว” ที่เป็นโปรแกรมของชุดควบคุมมีความสามารถควบคุมเครื่องจักรทุกตัว ที่มีการเชื่อมต่อกับการ์ดต่างดังที่กล่าวในผลการดำเนินงาน ทำให้สามารถทราบข้อมูลเครื่องจักรจากศูนย์ข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำขณะเครื่องจักรยังคงทำงานอยู่ และในอนาคตศูนย์ข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำสามารถสร้างชุดควบคุมอีกชุดที่สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ผ่านโปรแกรม ฐานข้อมูล “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล” เป็นต้น

5. สรุปผล (Conclusion)

จากที่ได้ออกแบบตู้ควบคุมที่เป็นมาตรฐาน โรงงานอุตสาหกรรม สามารถทำงานได้ตลอด 24 ชั่วโมง ภายในตู้ควบคุม มีระบบควบคุมสองชุดสลับกันทำงานกรณีชุดควบคุมชุดแรกเสียก็จะสลับการทำงานเป็นชุดที่สองทันที เรียกว่าระบบ “ระบบอุปกรณ์สำรอง” ได้ทำการเชื่อมต่อบนตู้ควบคุมเข้ากับระบบจัดเก็บฐานข้อมูล ชื่อ “ชุดจัดเก็บข้อมูล” ซึ่งระบบชุดจัดเก็บข้อมูลจะทำหน้าที่เป็นทางเชื่อมต่อ รับ-ส่ง ข้อมูลจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำต่างๆเข้าไปที่ระบบฐานข้อมูล “ไมโครซอฟท์ เอสคิวแอล” หรือระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ที่เป็นซอฟต์แวร์ที่มีหน้าที่หลักในการจัดการฐานข้อมูลศูนย์ข้อมูล มีหน้าที่หลักในการจัดเก็บและเรียกข้อมูลตามคำขอของแอปพลิเคชัน-ซอฟต์แวร์ ซึ่งทำงานได้บนคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวกันหรือบนคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นในเครือข่ายที่ใช้เทคโนโลยี 4.0 โดยวิธีการเก็บข้อมูลขณะเครื่องจักรกำลังทำงาน สามารถดึงข้อมูลจากอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล ส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง โดยระบบปฏิบัติการจัดเก็บข้อมูลทุก 1 นาที ทำให้ได้ข้อมูลจริง ณ เวลาปัจจุบัน และยังแสดงสถานะการทำงานของเครื่องจักรที่กำลังทำงาน ผู้ดูแลระบบสามารถดูการทำงานของเครื่องจักรผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้

ทุกสถานที่ และนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรให้ดียิ่งขึ้น เหมาะสำหรับการจัดเก็บข้อมูลเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์ข้อมูลโรงควบคุมคุณภาพน้ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์เป็นอย่างสูงของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชาวัลย์ นาคทรัพย์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคณาจารย์บัณฑิตวิทยาลัย สาขาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยามทุกท่าน ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและติดตามทั้งใน การศึกษา การทำงานวิจัยและการให้ความรู้ต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างสูงสุดมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณทางคณะผู้บริหาร พนักงานทุกท่านของบริษัทแอดวานซ์เทคโนโลยี ที่ได้มอบความช่วยเหลือ สนับสนุนข้อมูล และอนุมัติการดำเนินงานวิจัย รวมถึงยังเป็นที่ปรึกษาในปัญหาต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดีจนเกิดผลสำเร็จของงานวิจัยนี้สามารถใช้งานได้จริง

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [1] นางสาวบุญธิดา สุรทินนาร, การวิเคราะห์และการออกแบบระบบฐานข้อมูลสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการจังหวัด, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยสยาม, (2557)
- [2] อรณิชา บวรพิพัฒน์ชัย, การจัดระบบฐานข้อมูลทางการผลิต: กรณีศึกษาโรงงานผลิตอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยสยาม, (2552)
- [3] ธนัช รัชศรี, การวิเคราะห์ความประหยัลดพลังงานในโรงบำบัดน้ำเสียศูนย์การแพทย์กาญจนาภิเษก โดยการ ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงร่วมกับอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2555)

7.2 ข้อมูลอ้างอิงเว็บไซต์เว็บ

- [1] สำนักงานการระบายน้ำ http://dds.bangkok.go.th/about2_8.php
- [2] ศูนย์ควบคุมระบบป้องกันน้ำท่วม, <http://weather.bangkok.go.th:8080/>
- [3] อุปกรณ์จากเว็บไซต์ Advanced technologies <http://www.adtech.co.th/contactus.php>
- [4] อาจารย์ลือชัย ทองนิล มาตรฐาน มอก-2553, <http://www.coe.or.th/coe-2/newsPic/N-20160907144339-4.pdf>

การกู้คืนหมายเลขทะเบียนปืนบนโลหะ AISI 1015
เพื่อจำแนกผลการกู้คืนด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
Restoration of engraved marks on AISI 1015
surface by classical technique and image processing

ดร.เกลิ้นที เวปุลานนท์^{1*}, นางสาวภาวิตา น้ำใจสุข¹, นางสาวณัฐธิดา ปานพาน¹
นางสาวกาญจนา รัตนพันธ์¹, นายณฤเบศร์ ว่องปัญญาเลิศ¹, นายสกล จันทร์ขจร²

¹ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

² ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Klatnatee.v@psu.ac.th

บทคัดย่อ

อาวุธปืนเป็นหนึ่งในอาวุธที่นำมาใช้ในการก่อคดีอาชญากรรม โดยอาวุธปืนจะมีหมายเลขทะเบียนปืนซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่บอกถึงแหล่งผลิต ที่มาและระบุความเป็นเจ้าของ โดยผู้ร้ายจะทำการขัดลบหรือปลอมแปลงเพื่อให้ยากต่อการตรวจสอบ คณะผู้จัดทำจึงศึกษาการกู้คืนเลขทะเบียนปืนด้วยวิธีการใช้น้ำยาเคมีและไฟฟ้าเคมี จากนั้นนำเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image processing) ตามด้วย Machine learning มาช่วยในการทำนายหมายเลขทะเบียนปืนให้มีความถูกต้อง รวดเร็ว และแม่นยำ โดยค่าเฉลี่ยความแม่นยำที่ได้มีค่าเท่ากับ 95.97%

Serial numbers are important data that indicates the source of guns. Criminals try to damage the serial number, in order to make it difficult to trace the gun. The recovery of the serial number is an important step in finding the culprit. The research team used chemical reagent and electrochemical solution methods followed by image processing techniques, with machine learning to help identify serial numbers to be accurate and fast. The average accuracy is 95.97%.

คำสำคัญ (Key word): Serial numbers, Image processing, Machine learning

1. บทนำ (Introduction)

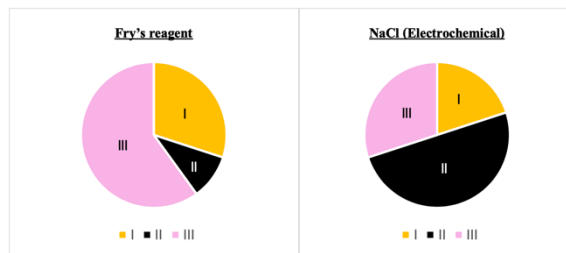
โครงการวิจัยนี้คณะผู้วิจัยมีจุดประสงค์ในการที่จะสร้างเครื่องมือและพัฒนาซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ตัวเลข และตัวอักษรที่ต้องการกู้คืนจากเลขทะเบียนที่มีการขูดแก้ไข โดยหลักการสำคัญคือเครื่องมือหรือซอฟต์แวร์นั้นต้องมีราคาถูก ใช้งานได้ง่าย และให้ความแม่นยำสูง เพื่อลดค่าใช้จ่ายการซื้ออุปกรณ์หรือซอฟต์แวร์จากต่างประเทศ ลดภาระของผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ตัวอักษรและตัวเลขที่ถูกกู้คืน ซึ่งจะส่งผลให้ช่วยลดกระบวนการขั้นตอนในการวิเคราะห์ให้กระชับขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้การตามสืบติดตามผู้ร้ายในคดีอาชญากรรมดำเนินไปด้วยความรวดเร็วมากขึ้น

ทุกวันนี้อาชญากรรมมีอัตราการเกิดเพิ่มมากขึ้น อาวุธที่มีความเกี่ยวข้องเป็นอันดับต้นๆ คือ อาวุธปืน โดยคนร้ายจะทำการขูดลบ หรือทำการปลอมแปลงหมายเลขทะเบียนเพื่อเป็นการอำพรางคดี ซอฟต์แวร์ที่โครงการวิจัยนี้ออกแบบนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้ โดยที่จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาซอฟต์แวร์ให้สามารถทำนายหมายเลขทะเบียนปืนได้อย่างถูกต้อง แก้ปัญหาในกรณีที่หลังการกู้คืนมีความคลุมเครือ ไม่ชัดเจนจนไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นตัวอักษรหรือตัวเลขใด และเป็นการช่วยเพิ่มความรวดเร็วและความแม่นยำในขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบสวน และแก้คดีต่าง ๆ ให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

คุณสมบัติของซอฟต์แวร์นี้จะเป็นการแก้ปัญหาและช่วยให้การวิเคราะห์หมายเลขทะเบียนที่กู้คืนมีความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น เนื่องจากในการกู้คืนด้วยน้ำยาเคมี และวิธีทางไฟฟ้าเคมีที่มีการใช้งานกันอยู่นั้น ผลที่ได้จากการทดลองขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยแวดล้อมในขณะนั้น ทำให้บางครั้งการกู้คืนไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร ซึ่งผลที่สามารถกู้คืนได้จะจากการวิจัยของทีมผู้วิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีใหญ่

- 1.สามารถมองเห็นตัวอักษรหมายเลขได้อย่างชัดเจน (I)
- 2.ไม่สามารถมองเห็นหมายเลขใดได้เลย (II)
- 3.สามารถมองเห็นเลขที่กู้คืนได้ แต่ไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นหมายเลขหรือตัวอักษรใด (III)

ภาพที่ 1 เป็นภาพผลที่ได้จากการกู้คืนหมายเลขทะเบียนโดยใช้น้ำยาเคมีและวิธีทางเคมีไฟฟ้าของคณะผู้วิจัยจากกราฟวงกลมสามารถแบ่งได้เป็นสามกรณี และกรณีที่ III ซึ่งภาพมีความคลุมเครือนั้นมีเป็นปริมาณที่มาก งานวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะพัฒนาภาพที่ได้จากกรณีที่ III ให้เป็น กรณีที่ I ให้ได้มากที่สุด



ภาพที่ 1 ผลการทดลองที่ได้จากการกู้คืนหมายเลขทะเบียนโดยใช้น้ำยาเคมีและวิธีทางไฟฟ้าเคมี

ภาพที่ 2
ภาพในกรณี III ที่ได้จาก



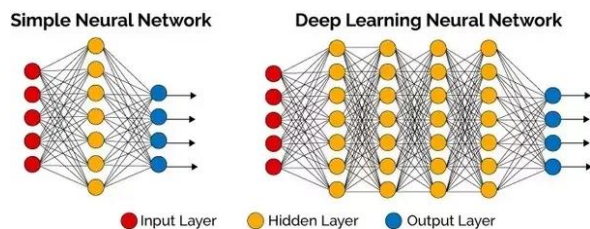
การกู้คืนหมายเลขโดยการใช้ยาเคมี

เนื่องจากทั้ง 3 กรณี พบว่ากรณีที่ 3 ทำให้ส่งผลต่อรูปคดีมีความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ไขคดีมากที่สุดคือกรณีที่ III เพราะการระบุหมายเลขทะเบียนผิดนั้นอาจส่งผลต่อรูปคดีได้ คณะผู้วิจัยจึงมีจุดประสงค์ที่จะปรับปรุงผลที่ได้จากการกู้คืนหมายเลขจากกรณีที่ 3 ให้สามารถอ่านได้ หรือใกล้เคียงกับกรณีที่ 1 ให้ได้มากที่สุด จึงทำการออกแบบซอฟต์แวร์ที่สามารถทำนายหมายเลขทะเบียนปืนจากภาพที่ไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นตัวเลข หรือตัวอักษรใดได้ให้มีความถูกต้อง รวดเร็ว และมีความแม่นยำสูงมากเพียงพอ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานนิติวิทยาศาสตร์ในการสืบหาตัวผู้ร้ายได้ต่อไป เนื่องจากผลที่ได้จากการกู้คืนหมายเลขทะเบียน ไม่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน เพราะหมายเลขที่กู้คืนได้นั้นปรากฏให้เห็นเพียงบางส่วนของตัวอักษรหรือตัวเลข ทำให้ยากต่อการทำนายหมายเลขและตัวอักษรให้ถูกต้อง คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาซอฟต์แวร์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการทำนายหมายเลขโดยเฉพาะ โดยการพัฒนาซอฟต์แวร์นั้นนำเอาหลักการของ Machine Learning เข้ามาเกี่ยวข้องในการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการทำนายหมายเลขทะเบียน

Machine learning คือ เทคนิคที่ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์เรียนรู้ได้ โดยทำการจำลองการเรียนรู้และจดจำแบบเดียวกันกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์

Deep learning นั้นคือศาสตร์แขนงหนึ่งของ Machine learning ที่เลียนแบบระบบประสาทของมนุษย์ (Neural network) การจำลองเซลล์ประสาท (Node) ออกมาเป็น Artificial Neural Network (ANN) มีหลักการ

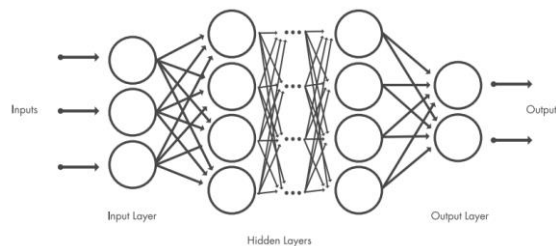
ทำงานแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Input (การรับข้อมูล) Hidden layer (ระบบเซลล์ประสาทประมวลผล) การเพิ่ม Hidden Layer เข้าไปทำให้การประมวลผลมีความซับซ้อน ผ่านการคิดวิเคราะห์หลายชั้น (Hudson M. et al.2018) ส่งผลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า deep learning ก็คือ ANN ที่มี Hidden Layer หลายชั้นเพื่อความสามารถในการคำนวณที่ซับซ้อนได้มากยิ่งขึ้น (Miller, R. 2013)



ภาพที่ 3 แบบจำลองของ Artificial Neural Network

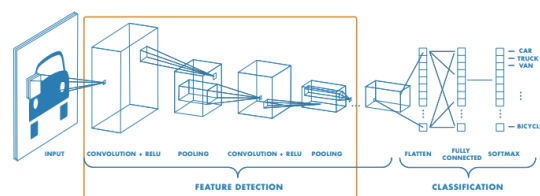
การจำแนกหมวดหมู่รูปภาพ (Image Classification) เพื่อแยกหมวดหมู่ของวัตถุในภาพนั้น มีความจำเป็นจะต้องสกัด Feature ที่สำคัญของวัตถุในรูปภาพ โดยวัตถุชนิดเดียวกันจะมี Feature ที่คล้ายคลึงกัน (Hudson M. et al.2018) ดังนั้นการเลือก Feature ที่เหมาะสมจึงส่งผลต่อความถูกต้องของ Image Classification เป็นอย่างมาก เทคนิคที่ได้รับความนิยมใน Image Classification คือ การเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) (Klees, G.S. 2002) แต่อย่างไรก็ตามการสกัด Feature ในช่วงแรกยังคงเป็นการสกัดด้วยมนุษย์ (Hand-craft Feature) ซึ่งความเหมาะสมของ Feature จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของผู้สกัดข้อมูล การเรียนรู้ Feature จากข้อมูลโดยอัตโนมัติเป็นอีกวิธีการในการเอาชนะข้อจำกัดของวิธีการสกัด Hand-craft Feature ตัวอย่างวิธีการที่ได้รับคามนิยมอย่างสูงคือการใช้ Deep Neural Network (DNNs) ในงานด้าน Image Classification โมเดล DNNs ประกอบไปด้วย Nonlinear processing layer จำนวนมากทำงานแบบคู่ขนานเพื่อเลียนแบบการทำงานในระบบประสาทของมนุษย์ (Miller, R. 2013) ตัวอย่างการทำงานของ DNNs เช่นเมื่อมีเซตของรูปภาพซึ่งประกอบไปด้วย 4 หมวดหมู่ที่แตกต่างกัน เมื่อต้องการนำ DNNs มาจำแนกวัตถุในรูปภาพนั้น จะต้องทำการสร้างข้อมูลเพื่อการเรียนรู้โดยการ Label หมวดหมู่ของภาพ ข้อมูลภาพที่ถูก Label จะถูกเรียกว่า Training Data หรือ Training Images DNNs สามารถเรียนรู้ Feature ของวัตถุในภาพและทำการเชื่อมโยงกับหมวดหมู่ของภาพ (Wightman. G., and Matthew. J. 2008) ในแต่ละ Layer จะใช้ Output ของ

Layer ก่อนหน้าเป็น Input ความซับซ้อนและรายละเอียดในการเรียนรู้จะเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนชั้นของ Layer ข้อดีของ DNNs คือโครงข่ายสามารถเรียนรู้และเลือก Feature ได้เองโดยไม่ต้องอาศัยมนุษย์

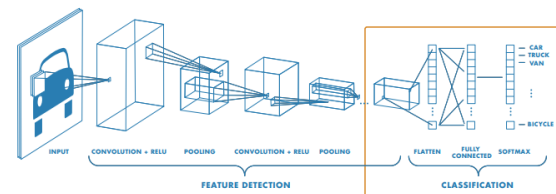


ภาพที่ 4 สถาปัตยกรรมของ DNNs

ต่อมา DNNs ได้ถูกพัฒนาเป็น Convolutional Deep Neural Network (ConvNet) เพื่องานทางด้านการประมวลผลภาพและวิดีโอโดยเฉพาะ (Douglas, E., 2013) ซึ่งประกอบลำดับชั้นการเรียนรู้หลายระดับ ภาพประกอบที่ 5 แสดงสถาปัตยกรรมของ ConvNet โดยสามารถแบ่งกลุ่มของ Layer ออกเป็น 2 ประเภท คือ Feature Detection Layer และ Classification Layer สำหรับ Feature Detection Layer จะประกอบด้วย Layer ย่อย 3 แบบคือ Convolution Layer: การนำเซตของรูปภาพไปประมวลผลด้วยตัวกรอง (Filter) ตัวกรองแต่ละตัวจะทำการ Activate Feature จากรูปภาพ Input , Pooling Layer : ในขั้นตอนนี้จะทำการ Down Sampling, ลดจำนวน Parameter ที่ต้องใช้ และ Rectified Linear Unit (ReLU) Layer: เพิ่มความเร็วในการทำงานของโครงข่ายโดยการทำให้ค่าตัวเลขที่เป็นจำนวนลบเป็น 0 ทั้งหมด



ภาพที่ 5 Feature Detection Layers

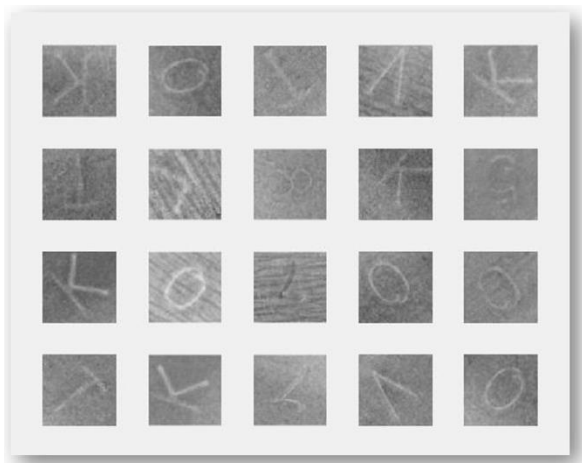


ภาพที่ 6 Classification Layers

กลุ่มของ Layer ประเภทที่ 2 ของ ConvNet คือ Classification Layer: ประกอบด้วย Fully Connected Layer (FC): ประกอบไปด้วย Vector K มิติ เมื่อกำหนดให้ K คือจำนวนคลาสของ Output แต่ละ Element ของเวกเตอร์คือความน่าจะเป็นของแต่ละ Class,

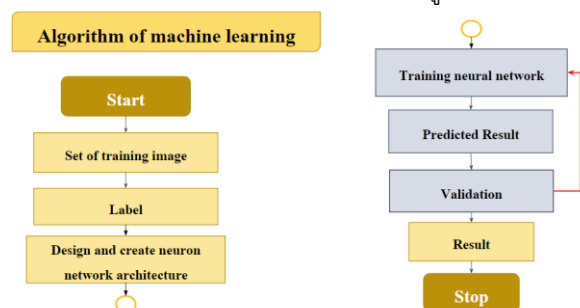
และ SoftMax: ใน Layer Class ที่มีความน่าจะเป็นสูงสุดจะถูกกำหนดให้เป็น Output ด้วย SoftMax Function

ในงานวิจัยนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาและปรับแต่งสถาปัตยกรรมของ ConvNet เพื่อจำแนกตัวเลขทะเบียนปี ที่ผ่านการกู้คืนสภาพจากภาพถ่ายดิจิทัล ทางผู้วิจัยได้ใช้ภาพที่ประกอบด้วยตัวอักษรและตัวเลขเพื่อสร้างเป็น Training Data สำหรับให้ ConvNet เรียนรู้และสกัด Feature อัตโนมัติโดยภาพตัวอย่าง Training Data ได้แสดงในภาพประกอบที่ 7

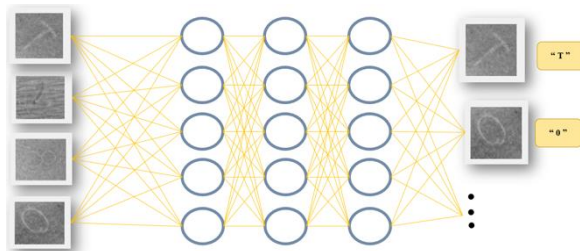


ภาพที่ 7 Training Data ที่ประกอบด้วยชุดตัวเลข และตัวอักษรที่ผ่านการกู้คืนด้วยวิธีการทางเคมี

จากข้อมูลรูปภาพที่ได้จากการทำการทดลอง และการออกแบบโครงข่ายสถาปัตยกรรมขั้นต้น ขั้นตอนต่อมาทางคณะผู้วิจัยได้ทำการ Label หมวดหมู่ของภาพเพื่อให้ ConvNet ทำการเรียนรู้โดยกระบวนการนี้เรียกว่า Image Labeling ต่อมา นำ Training Data เป็นข้อมูล Input ของ ConvNet ที่ได้ออกแบบขึ้นมาเพื่อทำการ Learning และปรับค่า Weight เพื่อให้ได้ Probability ใน SoftMax Layer ให้ตรงกับหมวดหมู่ที่ทางคณะผู้วิจัยได้ Label ไว้ให้มากที่สุด อัลกอริทึมการทำงานของระบบทั้งหมดได้แสดงในรูปที่ 8 และตัวอย่างการ Predict Class ได้แสดงในรูปที่ 9



ภาพที่ 8 ผังงานแสดงการทำงานของระบบ



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการจำแนก Class ด้วย ConvNet



2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 โลหะที่ใช้ในงานวิจัยและการเตรียมชิ้นงาน

สำหรับโครงการนี้โลหะที่ใช้ในการทดสอบคือ โลหะ AISI 1015 มีความกว้าง 5.0 เซนติเมตร x 3.5 เซนติเมตร x 0.5 เซนติเมตร โดยโครงการนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1

1. ตอกชุดหมายเลขลงบนชิ้นงาน
2. ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียด

80 และ 1200 ตามลำดับ

กรณีที่ 2

1. ตอกชุดหมายเลขลงบนชิ้นงาน
2. ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียด

80 เพื่อเป็นการขัดชุดหมายเลขเก่า

3. ตอกชุดหมายเลขชุดใหม่ลงบนชิ้นงาน
4. ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียด

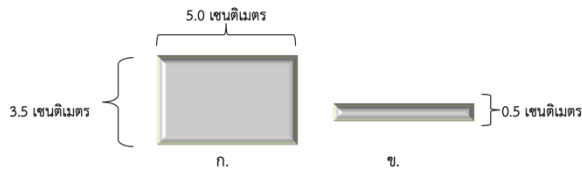
80 และ 1200 ตามลำดับ

กรณีที่ 3

1. ตอกชุดหมายเลขลงบนชิ้นงาน
2. ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายที่มีความละเอียด

80 และ 1200 ตามลำดับ

3. เคลือบชิ้นงานด้วยสีทาเหล็ก



ภาพที่ 10 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง

2.2 การเตรียมน้ำยา Fry's reagent

ซังคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ 90 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมกรดไฮโดรคลอริก 12 โมลาร์ ปริมาตร 120 มิลลิลิตร

2.3 การศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการกู้คืนหมายเลขทะเบียน

ใช้สำลีก้านจุ่ม Fry's reagent และปาดลงบนชิ้นงานที่ผ่านการขัดด้วยกระดาษทราย จับเวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มปาดสำลีก้านลงบนชิ้นงาน จนสามารถมองเห็นชุดหมายเลขที่กู้คืนได้ รวมถึงจดบันทึกปริมาณของ Fry's reagent ที่ใช้ในแต่ละครั้ง

ภาพที่ 11 ขั้นตอนการปาด Fry's reagent ลงบนชิ้นงาน

2.4 การเตรียมน้ำยาโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 2%

ซังโซเดียมคลอไรด์ 2 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

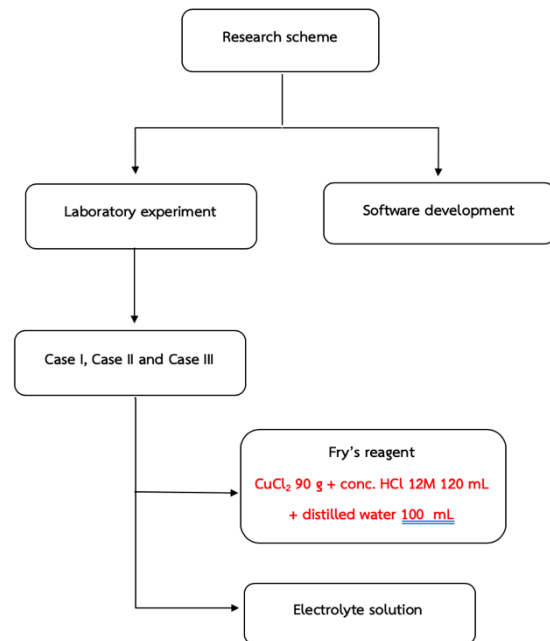
2.5 การศึกษาการกู้คืนหมายเลขทะเบียนโดยใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบคือเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยคาร์บอนแกรไฟต์เป็นขั้วช่วย (Counter electrode ; CR) และชิ้นงานที่ใช้ทดสอบเป็นขั้วทำงาน (Working electrode ; RE) โดยทำการปล่อยศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ เป็นเวลา 15 นาที สารละลายที่ใช้ทดสอบคือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ความเข้มข้น 2%

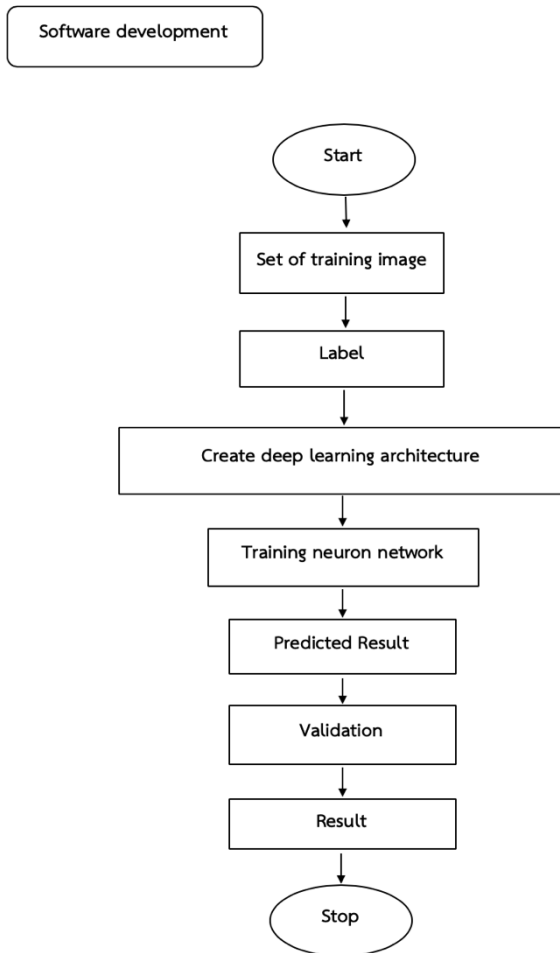


ภาพที่ 12 การกู้คืนหมายเลขทะเบียนโดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเคมี

หลักการและขั้นตอนในการทำวิจัยการกู้คืนหมายเลขทะเบียนที่ได้รับการแก้ไขได้สรุปและรวบรวมแสดงในภาพที่ 13-14



ภาพที่ 13 สรุปผังการทดลองแผนการทำงาน
ของโครงการวิจัย



ภาพที่ 14 สรุปลงการทดลองแผนการทำงานของ
ของโครงงานวิจัยในส่วนซอฟต์แวร์

3. ผลการวิจัย (Results)

การศึกษาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

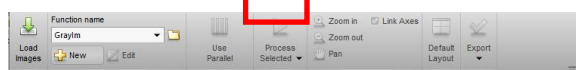
3.1 การเปลี่ยนชนิดของภาพ

เปลี่ยนภาพจากภาพสี เป็นภาพขาวเทาเนื่องจากภาพสีจะทำให้การเรียนรู้ของระบบคอมพิวเตอร์มีความล่าช้า โดยใช้คำสั่ง `imageBatchProcessor`

- อัปเดตภาพที่ต้องการเปลี่ยนชนิดของภาพ โดยกดที่ Load Images



- เลือกคำสั่ง Function name เป็น GrayIm เป็นคำสั่งที่ใช้ในการเปลี่ยนชนิดของภาพ
- เลือกคำสั่ง Process Selected เป็นคำสั่งที่ใช้ในการรันโปรแกรม และกดไฟล์ภาพในสกุล tiff.



3.2 การนำข้อมูลรูปภาพเข้าสู่โปรแกรม (Input)

รูปภาพที่ใช้ในงานวิจัยมีจำนวน 8000 ภาพ ซึ่งเป็นรูปภาพของตัวเลข และตัวอักษรภาษาอังกฤษ ที่ได้มาจากการถ่ายภาพโดยใช้กล้อง Black-microscope ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่องานวิจัยนี้โดยเฉพาะ หลังจากนั้น ทำการ input ใส่ข้อมูลรูปภาพเข้าสู่โปรแกรม MATLAB โดยใช้คำสั่ง `digitDatasetPath`

3.3 การแบ่งข้อมูลรูปภาพ

แบ่งรูปภาพออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกสำหรับการ



training เป็นจำนวน 750 ภาพ และส่วนที่สองใช้ในการตรวจสอบความถูกต้อง (validation) เป็นจำนวน 250 ภาพ

3.4 การกำหนดสถาปัตยกรรมของระบบเครือข่าย

การกำหนดสถาปัตยกรรมนั้นต้องทำการเปลี่ยน

```

1 digitDatasetPath = fullfile(matlabroot,'toolbox','nnet','nndemos', ...
2 'nndatasets','DigitDataset');
3 imds = imageDatastore(digitDatasetPath, ...
4 'IncludeSubfolders',true,'LabelSource','foldernames');
  
```

Parameters จนกว่าจะได้ค่า Accuracy ที่ต้องการ

```

5 numTrainFiles = 750;
6 [imdsTrain,imdsValidation] = splitEachLabel(imds,numTrainFiles,'randomize');
7
8 layers = [
9     imageInputLayer([100 100 1])
10
11     convolution2dLayer(9,16,'Padding','same')
12     batchNormalizationLayer
13     reluLayer
14
15     maxPooling2dLayer(2,'Stride',2)
16
17     convolution2dLayer(9,32,'Padding','same')
18     batchNormalizationLayer
19     reluLayer
20 ]
  
```

3.5 การกำหนด Training option

หลังจากการกำหนดสถาปัตยกรรมของระบบเครือข่ายแล้ว จะระบุ training option โดยใช้ SGDM ในการสุ่มเลือกรูปภาพ กำหนดให้รอบการเทรน(Epochs) เท่ากับ 4 รอบ และในรอบในการเทรนจะทำการสุ่มรูปภาพใหม่ทุกครั้ง

3.6 การสั่งเทรน

```

55 options = trainingOptions('sgdm', ...
56 'InitialLearnRate',0.01, ...
57 'MaxEpochs',4, ...
58 'Shuffle','every-epoch', ...
59 'ValidationData',imdsValidation, ...
60 'ValidationFrequency',30, ...
61 'Verbose',false, ...
62 'Plots','training-progress');
63
64 net = trainNetwork(imdsTrain,imdsValidation,options);
65
  
```

```

71 YPred = classify(net,imdsValidation);
72 YValidation = imdsValidation.Labels;
73
74 accuracy = sum(YPred == YValidation)/numel(YValidation)
  
```

3.7 การคำนวณค่า Accuracy

ค่าความแม่นยำ (Accuracy) สำหรับโครงงานวิจัยนี้เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถความแม่นยำของการทำนายตัวเลขและตัวอักษรจากรูปภาพที่ได้จากการรู้คื้นหมายเลขทะเบียนป็นโดยวิธีทางเคมี จากผลการทดลองที่ได้ ทำให้ทางทีมผู้วิจัยพบว่าวิธีการที่นำเสนอ นั้น สามารถจำแนกข้อมูลตัวเลขและตัวอักษรได้ถูกต้องโดยมีค่าเฉลี่ยของค่าความแม่นยำอยู่ที่ 95.97% เมื่อใช้ Training Data ที่นำเสนอ โดยรายละเอียดผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 1 และผลค่าความแม่นยำจากการทำนายของซอฟต์แวร์ในภาพที่ 15

ตารางที่ 1 แสดง Accuracy ของการทดลอง 10 ครั้ง



ภาพที่ 15 Training progress

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการใช้น้ำยาเคมีและวิธีการทางไฟฟ้าที่ต่างก็มีข้อจำกัด โดยที่ Fry's reagent ข้อดีคือ ใช้งานง่าย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เยอะ แต่ก็มีข้อจำกัดคือมีความเป็นพิษต่อผิวหนังและระบบทางเดินหายใจ ในขณะที่การใช้วิธีเคมีไฟฟ้าที่ใช้ NaCl จึงไม่มีความเป็นพิษ สามารถหาได้ง่าย ราคาถูก แต่อุปกรณ์มีความยุ่งยาก ใช้เวลานาน และหากรู้คื้นไม่สำเร็จ ผิวหน้าชิ้นงานจะเสียหายซึ่งเป็นการทำลายวัตถุพยาน

เมื่อนำภาพถ่ายที่ได้จากการรู้คื้นทั้งสองวิธีมาวิเคราะห์ คณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะนำภาพถ่ายจาก Fry's reagent มาใช้ในการประมวลผลภาพ ซึ่งสามารถจำแนกภาพได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

- 1.สามารถมองเห็นหมายเลขได้อย่างชัดเจน (I)
- 2.ไม่สามารถมองเห็นหมายเลขใดได้เลย (II)

3.สามารถมองเห็นเลขที่รู้คื้นได้ แต่ไม่สามารถระบุได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นหมายเลขใด (III)

คณะผู้วิจัยเลือกภาพกลุ่มที่ III จำนวน 8000 ภาพมาเข้าสู่การประมวลผลภาพเพื่อเข้าสู่กระบวนการ machine learning ที่ได้ออกแบบโครงข่ายสถาปัตยกรรมไว้ซึ่งผลปรากฏว่าจากการ training ได้ค่าความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 95.97%

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความความแม่นยำที่ได้นั้นมีค่าสูงเป็นที่ยอมรับได้ นอกไปจากนั้นการออกแบบ hidden layer นั้นง่ายไม่ซับซ้อน ใช้ต้นทุนน้อย และเวลาในการประมวลผลที่เร็ว แต่ถ้าต้องการเพิ่มความความแม่นยำให้มากขึ้นก็สามารถพัฒนาได้ด้วยการเพิ่มจำนวนรูป และความหลากหลายของข้อมูลให้มากขึ้น เพื่อให้ machine ได้เรียนรู้และทำให้ทำนายได้แม่นยำมากขึ้น แต่ข้อควรระวังก็คือจะทำให้เวลาในการประมวลผลนานขึ้นไปด้วย

5. สรุปผล (Conclusion)

การนำเสนอ hidden layer และการใช้ machine learning สามารถช่วยทำนายตัวเลขที่ได้รับการรู้คื้นจากทะเบียนป็นที่มีการขูดลบปลอมแปลงได้รวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น

Algorithm ที่นำมาใช้สามารถลดเวลาของผู้เชี่ยวชาญและเพิ่มกำลังคนทำให้คนอื่น ๆ สามารถสืบสวนเลขทะเบียนที่ทำการรู้คื้นได้โดยไม่ต้องเป็นผู้เชี่ยวชาญ

ถึงแม้ว่าในโครงงานวิจัยนี้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจะให้ค่าความแม่นยำสูงถึง 95.97% แต่คณะผู้วิจัยยังคงต้องการศึกษาเพื่อปรับปรุงในส่วนข้อมูล input ให้มากขึ้น เพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการ Machine learning และคาดหวังว่าจะทำให้ค่าความแม่นยำสูงขึ้นจนใกล้เคียง 100% ในที่สุด นอกไปจากนั้นก็จะมีการปรับ hidden layer ให้รองรับข้อมูลที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการประมวลผลให้ถูกต้อง ตัวอย่างทั้งหมดเหล่านี้วิธีการปกติจะต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ และมีเทคนิคข้อปฏิบัติหลายขั้นตอนในการพิสูจน์ผล ซึ่งทำให้กินระยะเวลานาน แต่ทว่า machine learning สามารถเรียนรู้และประมวลผลได้ในระยะอันสั้น ซึ่งจะเป็นตัวช่วยกรองงาน และลดปริมาณงานในหน่วยงานให้น้อยลง เพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ได้มากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการสนับสนุนจากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ผู้ช่วยวิจัย และนักศึกษาปริญญาตรีในทีมที่ช่วยกันทำงานอย่างแข็งขันเพื่อให้งานสำเร็จตามเป้าหมายที่ทีมตั้งไว้ในเวลา

ที่จำกัด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wightman. G., and Matthew. J. 2008. Restoration of stamp marks on steel components. Forensic Science International. 180, 32-36
- [2] Klees, G.S. 2002. The restoration of obliterated laser etched firearm identifiers by conventional and Alternative decryption methods. Association of Firearm and Tool Mark Examiners Journal. 34, 264-267
- [3] Polk, D.E., and Giessen, B. 1989. Metallurgical aspects of serial number recovery. Association of Firearm and Tool Mark Examiners Journal 21, 174-181
- [4] Mohd, A., and Harun, H., 2007. Restoration of engraved marks on steel surfaces by etching technique. Forensic Science International, 27-32
- [5] Douglas, E., 2013. Forensic investigation of stamped markings using a large chamber scanning electron microscope and computer analysis for depth determination. PhD Thesis. Western Kentucky University. 8-10.
- [5] Ajibade, J., Oladele. I., and Shokoya. W. 2011. Effect of degree of plastic deformation on the electrical resistance and thermal conductivity of Al-Mg-Si-Alloy. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 553-560.
- [6] Kesharwani. L., and Munish. M. 2013. Development of new reagent for restoration of erased serial number in metal plates. Egyptian Journal of Forensic Sciences, 26-34.
- [7] Silva. L., and Santos. P. 2008. Recovering obliterated laser engraved serial numbers in firearms. Forensic Science International, e63-e66.
- [8] Hudson. M., Hagan. M., and Demuth. H. 2018. Deep Learning Toolbox, U.S., The MathWorks, 1-2, 1-29 – 1-54.
- [9] Paluszczek. M., and Thomas. S., 2017. MATLAB Machine Learning, USA, Business Media New York, 3-6.
- [10] Kuppuswamy. N. Uli., R. 2011. A Survey of some metallographic etching reagents for

restoration of obliterated engraved marks on aluminium-silicon alloy surfaces. Forensic Science International, 66-73.

- [11] Song. Q. 2015. Restoration of obliterated engraved marks on steel surfaces by chemical etching reagent. Forensic Science International, 33-36.
- [12] Miller, R. 2013. The restoration of serial numbers on vehicle glass using hydrofluoric acid. Forensic Science International, 28-31.
- [13] Kuppuswamy, R. 2010. Metallographic etching of aluminum and its alloy for restoration of obliterated marks in forensic science practice and investigations. Forensic science program, 331-352.

การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขาและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับปัญหา พนักงานขาย ในคลังสินค้าบนไมโครซอฟท์เอกซ์เซล

Traveling Salesman Problem in Warehouse by using Hill Climbing and Simulated Annealing algorithm on Microsoft Excel

นางสาวจิราพร สกุลวรารักษ์¹, ผศ.ดร. คณิศ พันธุ์สวัสดิ์²

1 สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

เลขที่ 6 ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม นครปฐม 73000
Jeenjira.s@gmail.com

2 อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยศิลปากร
kanate.engineer@gmail.com

บทคัดย่อ

Order Picking is one of the operations in warehouse, that have been using 55-65% of the warehouse's total cost [1]. Therefore, in order to maximize the efficiency of this process will help to improve time consuming and reduce the total cost of the entire warehouse. This problem is also known as Traveling Salesman Problem which is a NP-Hard problem. In this research we have used Hill Climbing Algorithm (HCA) to solved the problem due to its simplicity, fast and cheap. Simulated Annealing (SA) have been used in this research in order to compare the result with HCA, the reason is that SA is quite a simple method and also there is a chance that the result will be Global which sometime need to be working on Microsoft Excel. In this research, we have set the number of Aisles into 5,10,15,20 and 30. And set the run time of HCA as same as a number of run times of SA. Which SA will be set of Initial T with 10,50,100,250 and 500. The decreasing ratio (α) will be set as 0.95 and 0.99. By all of this setting, the total distance that include a coverage distance can be used to find the minimal distance and SA. Which the result shown by SA having a better solutions; total number of working, Initial T and α also have an effect on the result

คำสำคัญ (Key word): Traveling Salesman Problem ; Simulated Annealing algorithm ; Hill Climbing algorithm ; Order picking

1. บทนำ (Introduction)

การเดินหีบสินค้าในคลังสินค้าตามใบคำสั่งซื้อ (Order Picking) จัดเป็นกิจกรรมที่มีต้นทุนสูงที่สุดใน คลังสินค้า (Warehouse) โดยสูงถึงร้อยละ 55-65 ของต้นทุนทั้งหมดในคลังสินค้า และ ในต้นทุนนี้ ค่าใช้จ่ายในการเดินหีบสินค้าตามชั้นวาง (Traveling) ถูกนำมาเทียบได้สูงถึงร้อยละ 50 ซึ่งนอกจากจะใช้ต้นทุนสูงแล้วยังใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานสูงอีกด้วย [1] ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการเดินหีบสินค้านั้นจึงมีความจำเป็นสำหรับการลดต้นทุน ลดระยะเวลา และเพิ่มผลกำไร

การเดินหีบสินค้าตามใบสั่งซื้อให้มีระยะทางสั้นที่สุดเป็นหนึ่งใน การเพิ่มประสิทธิภาพของการเดิน ซึ่งการหีบสินค้าเริ่มตั้งแต่ต้นทาง(ประตูทางเข้า) เดินหีบจนครบทุกชั้น แล้วสิ้นสุดที่ปลายทาง(ประตู ทางออก) โดยต้นทางและปลายทาง เป็นจุดเดียวกัน ปัญหานี้เป็นปัญหาเดียวกันกับ ปัญหาการเดินทาง ของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) [2-3]

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) เป็นปัญหาการตัดสินใจใน การเดินทางไปยังเมืองต่าง ๆ ของพนักงานขายจนครบทุกเมือง แล้วจึงเดินทางกลับมายังเมืองเริ่มต้น ปัญหานี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในคลังสินค้า เพื่อเดินหีบสินค้าให้ครบทุกชั้นตามใบคำสั่งซื้อในระยะทางที่สั้น และประหยัดเวลามากที่สุด โดยมีหลากหลายขั้นตอนวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหา แต่ขั้นตอนวิธีส่วนใหญ่เน้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ ขึ้นระยะเวลาในการหาคำตอบก็ยิ่งเพิ่มขึ้น ทั้งยังมีโอกาสที่จะได้คำตอบแบบ Local Optimal สูงกว่า คำตอบแบบ Global optimal

จากเหตุผลข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ใช้ทั้งหมด 2 ขั้นตอนวิธีเพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ได้แก่ ขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm: HCA) เนื่องจากขั้นตอนวิธีการปีนเขาเป็นการสุ่มจึงทำให้ระยะเวลาในการคำนวณไม่สูงจนเกินไป แต่มีโอกาสนในการได้คำตอบแบบ Local Optimal สูง และ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่พัฒนา มาจากขั้นตอนวิธีการปีนเขา เพื่อลดโอกาสในการได้คำตอบแบบ Local Optimal และเพิ่มโอกาสในการได้คำตอบแบบ Global Optimal ผู้วิจัยได้เลือกทำบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล (Microsoft Excel) เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่ใช้งานง่าย และนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

ขอบเขตงานวิจัย 1) กำหนดจำนวนช่องตำแหน่งทางเดินเป็น 5,10,15,20,30 ช่อง

2) กำหนดค่า T เริ่มต้น (Initial Temperature) ในขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเป็น 10,50,

100, 500 และ 1000

3) กำหนดค่าเป็น 0.95 และ 0.99

4) กำหนดให้การหาคำตอบแต่ละจำนวนหรือแต่ละค่า T ทำทั้งหมด 5 รอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการแก้ปัญหา TSP นั้นมีหลายวิธี เช่น Branch and Bound ,Greedy Algorithm ,HCA ,SA , Genetic Algorithm เป็นต้น แต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสียที่ต่างกันไป โดย Wang (2011)[4] ได้เปรียบเทียบ Genetic Algorithm , Hopfield Neural Network ,Ant Colony ด้วยเวลาในการหาคำตอบ ความ ซับซ้อนของข้อมูล และ คำตอบที่ได้ พบว่า Ant colony ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด Ondřej,Míča (2015)[5] เปรียบเทียบ Tabu Search ,Simulated Annealing algorithm , Genetic Algorithm ,Ant Colony ด้วยจำนวนโหนดแตกต่างกัน 8 จำนวนพบว่า GA จะมีความแปรปรวนตามจำนวนโหนด SA ได้คำตอบรองจาก Ant Colony ซึ่งได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ขั้นตอนมีความซับซ้อนสูง Anasari และคณะ (2015)[6] ได้ ศึกษาการเดินทางในสหรัฐอเมริกา 20,100,1000 เมือง ด้วยวิธี Greedy Algorithm ,GA ,NNA พบว่า Greedy ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด Adewole (2012)[7] ได้เปรียบเทียบ SA กับ GA พบว่าผลลัพธ์ออกมาใกล้เคียงกันแต่เวลาในการหาคำตอบเมื่อมีจำนวนโหนด (เมือง) มากขึ้นทำให้ GA ใช้เวลาแบบเอกซ์โพเนนเชียล Özcan, Samet C., (2018)[8] ได้ออกแบบเมืองอัจฉริยะโดยประยุกต์ใช้ HCA เข้ากับ OSM เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเดินทางท่องเที่ยวไปยังสถานที่ต่าง ๆ ได้ด้วยตนเองโดยผลลัพธ์จะคำนวณหาระยะทางไปยังสถานที่ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้เลือกให้ออกมาได้ระยะทางรวมที่สั้น ประหยัดเวลาในการเดินทางและ เวลาในการคำนวณผลลัพธ์เหมาะสมที่สุด Jiang และคณะ (2013)[9] ได้ทำแบบจำลอง Network model สำหรับอพยพเมื่อเกิดภัยพิบัติ ให้มีความรวดเร็ว โดยประยุกต์ใช้ HCA เข้ากับ Tabu Search พบว่าผลลัพธ์เมื่อใช้สองขั้นตอนนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเลือกใช้ขั้นตอนเดียว Behnck และคณะ (2015)[10] ได้จำลองเส้นทางของ UAV โดยใช้ SA ในการวางแผนการบินให้บินไปยังจุดสนใจของตนเอง พบว่าบินได้ถูกต้อง 70-75 เปอร์เซ็นต์ Grabusts และคณะ (2019)[11] คำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางระหว่าง 8 โรงงานในประเทศเบลารุสโดยใช้ตำแหน่งจากแผนที่จริง ควบคู่กับ SA ผลลัพธ์ที่ได้คือได้ระยะทางที่สั้นลงจากเดิม

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem ;TSP) เป็นปัญหาการตัดสินใจใน

การเดินทางไปยังเมืองต่าง ๆ ของพนักงานขายจนครบทุกเมืองแล้วจึงเดินทางกลับมายังเมืองเริ่มต้น จัดเป็นปัญหาแบบยาก (NP-Hard) [12] โดยเมื่อจำนวนเมืองเพิ่มขึ้นความยากจะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล [13] โดยการแก้ปัญหา มีหลากหลายวิธี เช่น ขั้นตอนวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Algorithm: ACO) ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ขั้นตอนวิธีการปีนเขา (HCA) ขั้นตอนวิธีจำลองการอบเหนียว (SA) เป็นต้น [1] แต่ยังไม่พบวิธีที่สามารถแก้ปัญหาในเวลาแบบโพลิโนเมียล ได้

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ [14]

$$\text{Minimization } \sum_{j \in N} x_{ij} D_{ij} \quad (1)$$

สมการข้อข้อ

$$\sum_{j \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad (5)$$

- (1) สมการแสดงระยะทางรวมหรือต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด
- (2) สมการกำหนดให้เดินทางจากจุดเริ่มต้นใด ๆ แล้วจะมีจุดปลายทางเพียงจุดเดียวเท่านั้น
- (3) สมการกำหนดให้จุดปลายทางใด ๆ จะมีจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียวเท่านั้น
- (4) สมการการกำจัดเส้นทางย่อย (Sub-tour Elimination)
- (5) สมการกำหนดให้ตัวแปรการจัดเส้นทางมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

ขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm: HCA) ถูกนำเสนอครั้งแรกโดยโทมัส ทูมัส ในปี ค.ศ. 1984 [11] ใช้สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) แบบต่อเนื่อง โดยเลือกได้แค่ ปีนขึ้น (Uphill) หรือปีนลง (downhill) เพียงอย่างเดียว [15] ขั้นตอน HCA จะเปรียบเทียบ Current Solution กับ Potential Solution ใหม่ (Neighbor solution ที่มีโครงสร้างมาจาก Current State นั้น ๆ) โดยถ้า potential solution ใหม่มีค่าดีกว่าจะยอมรับเป็น Current solution แต่ถ้าด้วยกว่าจะหา Potential Solution ใหม่ วนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบเงื่อนไขที่กำหนดจึงหยุด เนื่องจากวิธีนี้รับแต่คำตอบที่ดีกว่าทำให้คำตอบมีโอกาสติด Local optimal สูง

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA) ใช้สำหรับการแก้ปัญหา Combinatorial optimization problem เป็นขั้นตอนวิธีที่ถูกดัดแปลงมาจากการอบอ่อนโลหะ โดยให้ความร้อนแก่โลหะจนถึงจุดหลอมเหลวจากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงอย่างช้า ๆ

เพื่อให้เกิดผลึกโดยสมบูรณ์ [16-17] ขั้นตอนวิธี SA จะเป็นการเปรียบเทียบ Current Solution กับ Potential Solution ใหม่ (Neighbor solution ที่มีโครงสร้างมาจาก Current State นั้น ๆ) โดยถ้า potential solution ใหม่มีค่าดีกว่าจะยอมรับเป็น Current solution หากด้วยกว่าจะยอมรับค่านั้น ๆ ตามเกณฑ์ความน่าจะเป็นของ Boltzman's probability ทำวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระบวนการค่อย ๆ เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด ขณะที่กำลังวนซ้ำแต่ละรอบอุณหภูมิจะลดลงด้วย การรับคำตอบที่ดีกว่าจะค่อย ๆ ลดลงตาม [13,18] และเนื่องจากมีการยอมรับคำตอบที่ดีกว่าจึงทำให้มีโอกาสได้คำตอบเป็น Global minimal สูงขึ้น

รูปแบบทางคณิตศาสตร์ [16,19]

E = สถานะปัจจุบัน (Current State)

E' = สถานะถัดมา (New State)

dE = ค่าความแตกต่างระหว่าง E' และ E ; (E'-E)

T = อุณหภูมิ (Temperature)

P = ความน่าจะเป็นในสถานะ E' ณ อุณหภูมิ T

k_B = ค่าคงตัวบ็อลทซ์มันน์ (Boltzmann's constant)

สมการข้อข้อ

$$P[\text{ยอมรับ } E' \text{ เป็น Current State}] = \begin{cases} \text{Exponential } (-dE / T k_B) & \text{ถ้า } dE > 0 \\ 1 & \text{ถ้า } dE \leq 0 \end{cases}$$

สำหรับกรณี $dE > 0$ ที่ยอมรับ E' เป็น Current State กำหนดเป็น $P(dE)$

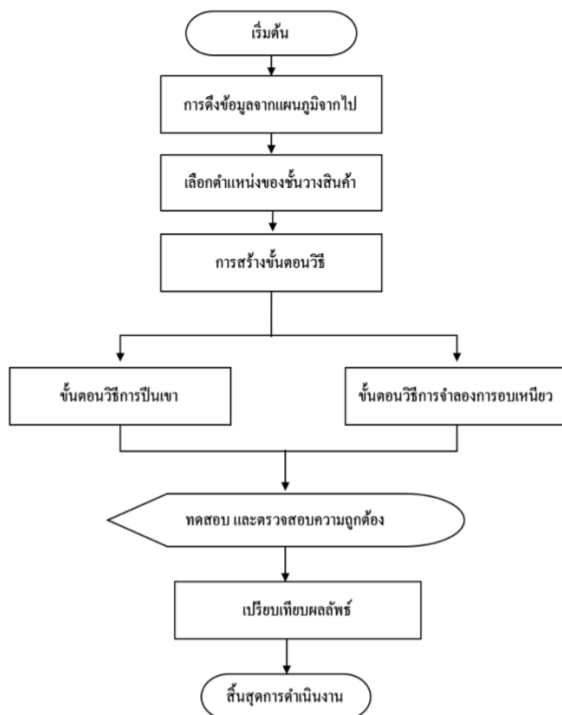
สุ่มค่า (0,1)

ถ้า $P(dE) > \text{Random}(0,1)$; ยอมรับ E' เป็น Current State

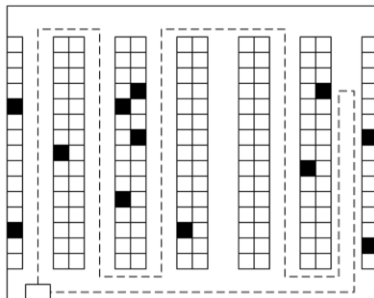
$P(dE) \leq \text{Random}(0,1)$; ไม่ยอมรับ E'

และคง Current State เดิม

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพที่ 2 ตัวอย่างคลังสินค้า

[illegible]

ภาพที่ 3 รวบรวมคำสั่งลงใน Microsoft Excel

จากคลังสินค้าในภาพที่ 2 จะถูกร่างลงในโปรแกรม Microsoft Excel ดังภาพที่ 3 โดย สีเหลือง แทนกำแพง หรือขอบเขตคลังสินค้า สีฟ้า แทนตำแหน่งชั้นวางสินค้า และ สีน้ำตาล แทนตำแหน่งช่องทางเดินเริ่มจากประตูทางเข้า-

ออก ในการเดินหิบบินค้าตามชั้นต่าง ๆ นั้นจะใช้รูปแบบการเดินแบบแมนฮัตตัน (Manhattan distance)

ขั้นตอนที่ 1 การดึงข้อมูลจากแผนภูมิจากไป เป็นการดึงข้อมูลจากตารางแผนภูมิจากไป (From To chart) ของช่องทางเดินทุกช่องมาเก็บไว้สำหรับนำมาคำนวณต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 เลือกตำแหน่งของชั้นวางสินค้า เมื่อเลือกสินค้าจากตำแหน่งชั้นวาง (สีฟ้า) จากภาพที่ 2 แล้วจะทำการเก็บค่าตำแหน่งช่องทางเดินที่ติดกัน เพื่อนำมาคำนวณหาระยะทางโดยนำค่าเหล่านี้มาเป็นหัวตาราง From to chart ใหม่ที่ดึงค่าในตารางมาจากขั้นตอนที่ 1

RUN	1	10	8	12	13
1	0	3	4	2	5
10	3	0	1	1	6
8	4	1	0	2	7
12	2	1	2	0	5
13	5	6	7	5	0

ภาพที่ 4 ตัวอย่าง From to Chart จากตำแหน่งที่เลือก

RUN	1	13	8	12	10
1	0	5	4	2	3
13	5	8	7	5	6
8	4	7	8	2	1
12	2	5	2	8	1
10	3	6	1	1	8

ภาพที่ 5 ตัวอย่างการสลับตำแหน่งจากภาพที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 สร้างขั้นตอนวิธี ในขั้นตอนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ขั้นตอนวิธีการป็นเขา และขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว โดยสองส่วนนี้ใช้ฟังก์ชันเหมือนกันคือ การสลับตำแหน่งเพื่อหา Neighbor state วิธีการคือ สุ่มตำแหน่งของ Current state 2 ตำแหน่ง สำหรับสลับกันเพื่อหา New state ตัวอย่างจากภาพที่ 4 ได้ Current Solution คือ 16 (ผลบวกตามกรอบสีแดง) เมื่อสลับตำแหน่งที่ 2 และ

5 ค่าในตารางจะเปลี่ยนตาม ดังภาพที่ 5 Neighbor
 Solution คือ 18 โดยหัวตาราง From to Chart นั้นจะเป็น
 ตัวบอกลำดับการเดินของตำแหน่งช่องทางเดิน

ขั้นตอนที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการป็นเขา เปรียบเทียบ
Current Solution กับ Neighbor Solution ถ้า ค่าตอบ
ใหม่น้อยกว่า เก็บค่านั้นเป็น Current แล้วหา Neighbor ใหม่
แต่ถ้าคำตอบด้อยกว่าเดิมให้เก็บค่า Current เดิมแล้วสลับ
หา Neighbor ตัวใหม่ ทำวนซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบเงื่อนไข

```

Sub Hill_C1()
    LastRow = Sheets("Link").Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
    Value = LastRow - 2
    Math.Randomize
    E1 = ResultE
    past = ResultEST
    For ii = 1 To 848
        x = CInt(Math.Rnd() * (Value - 1))
        y = CInt(Math.Rnd() * (Value - 1))
        Call Swap(Sheets("Link").Cells(x, "A"), Sheets("Link").Cells(y, "A"))
        Link
        E2 = ResultE
        Seq = ResultEST
        dE = E2 - E1
        If dE < 0 Or dE = 0 Then
            E1 = E2
            past = Seq
        Else
            E1 = E1
            past = past
        End If
    Next ii
End Sub

```

ภาพที่ 6 ตัวอย่างโค้ดขั้นตอนวิธีการป็นเขา

จากภาพที่ 6 ส่วนที่

(1) ส่วนในการสุ่มตัวเลขเพื่อที่จะนำมาสลับตำแหน่งหา Neighbor

(2) ขั้นตอนวิธีการป็นเขาในการหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3.2 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

เปรียบเทียบ Current Solution กับ Neighbor Solution ถ้า คำตอบใหม่ดีกว่า หรือด้อยกว่าเดิมแต่ยังอยู่ในความน่าจะเป็นของ Boltzmann เก็บค่านั้นเป็น Current แล้วหา Neighbor ใหม่ แต่ถ้านอกเหนือจากนั้น ให้เก็บค่า Current เดิมแล้วสลับหา Neighbor ตัวใหม่ ทำวนซ้ำไปเรื่อย ๆ ตามเงื่อนไข ($T > 0.001$)

```

Sub SA1()
    T = 100
    LastRow = Sheets("Link").Cells(Rows.Count, "A").End(xlUp).Row
    Value = LastRow - 2
    Math.Randomize
    E1 = ResultE
    past = ResultEST
    Count = 0
    For ii = 1 To 1000
        Do Until T < 0.01
            x = CInt(Math.Rnd() * (Value - 1))
            y = CInt(Math.Rnd() * (Value - 1))
            Call Swap(Sheets("Link").Cells(x, "A"), Sheets("Link").Cells(y, "A"))
            Link
            E2 = ResultE
            Seq = ResultEST
            dE = E2 - E1
            If dE < 0 Or dE = 0 Then
                E1 = E2
                past = Seq
            Else
                Prob = Exp(-1 * dE / T)
                rand = (1 - 0) * Rnd + 0
                If rand < Prob Then
                    E1 = E2
                    past = Seq
                Else: E1 = E1
                    past = past
                End If
            End If
            T = T * 0.99
            Count = Count + 1
        Loop
    Next ii
End Sub

```

ภาพที่ 7 ตัวอย่างโค้ดขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว

จากภาพที่ 7 ส่วนที่

- (1) กำหนด T เริ่มต้น (Initial Temperature)
- (2) ส่วนในการสุ่มตัวเลขเพื่อที่จะนำมาสลับตำแหน่งหา Neighbor
- (3) ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวในการหาคำตอบ
- (4) อัตราการลดของอุณหภูมิ

ขั้นตอนที่ 4 ทดสอบ และตรวจสอบ ตรวจสอบผลรวมระยะทางที่ได้ว่าคำนวณถูกต้องหรือไม่

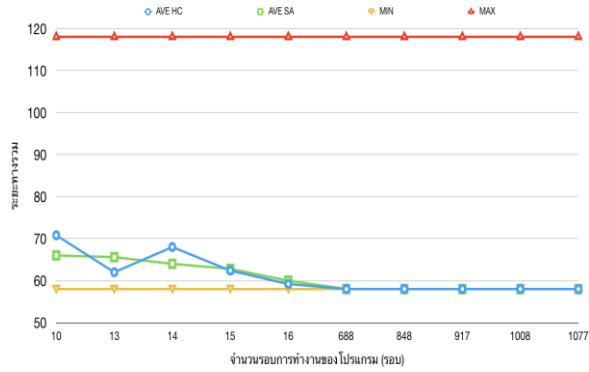
ขั้นตอนที่ 5 เปรียบเทียบผลที่ได้ ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จาก HCA และ SA และค่า สูงสุดต่ำสุด จาก Linear Programming บน Microsoft Excel

3. ผลการวิจัย (Results)

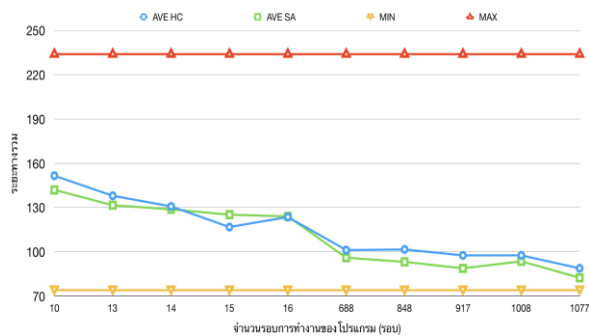
ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 7-11 และตารางที่ 2 โดยภาพที่ 7-11 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบของ HCA ,SA และ Max/Min จาก Linear Programming ที่จำนวนช่องทางเดินแตกต่างกันไปได้แก่ 5,10,15,20,30 ตามลำดับภาพ โดยที่แกน Y แทนระยะทางรวม และแกน X แทนจำนวนรอบในการหาคำตอบ (Literatures) กราฟเส้นสีแดง (สามเหลี่ยมหัวตั้ง) แทนค่า Maximize กราฟเส้นสีเหลือง (สามเหลี่ยมหัวกลับ) แทนค่า Minimize กราฟเส้นสีฟ้า (วงกลม) แทนค่า HCA กราฟเส้นสีเขียว (สี่เหลี่ยม) แทนค่า SA

ในการหาคำตอบนั้นใช้จำนวนรอบของ HCA ตามจำนวนรอบของ SA ดังตารางที่ 1 ซึ่ง SA ใช้ค่า T เริ่มต้นได้แก่ 10,50,100,250,500 และ $\alpha = 0.5, 0.99$ แต่ละตัวแปรทำการหาคำตอบ 5 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ตารางที่ 1 ตารางเทียบจำนวนรอบที่รันกับ T เริ่มต้น

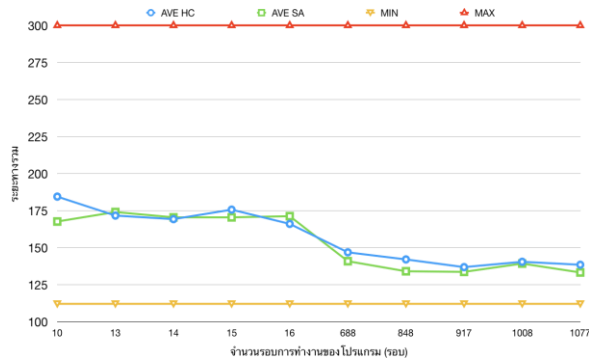
ค่า T เริ่มต้น									
	10	50	100	250	500				
$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.99$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.99$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.99$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.99$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.99$
10	688	13	848	14	917	15	1008	16	1077



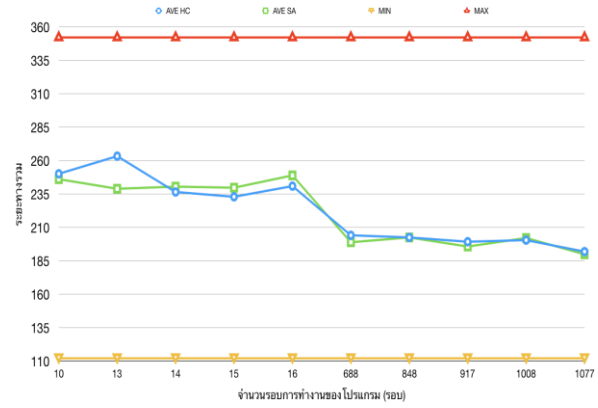
ภาพที่ 8 กราฟเปรียบเทียบเมื่อชั้นมีจำนวนช่องทางเดิน 5 ช่อง



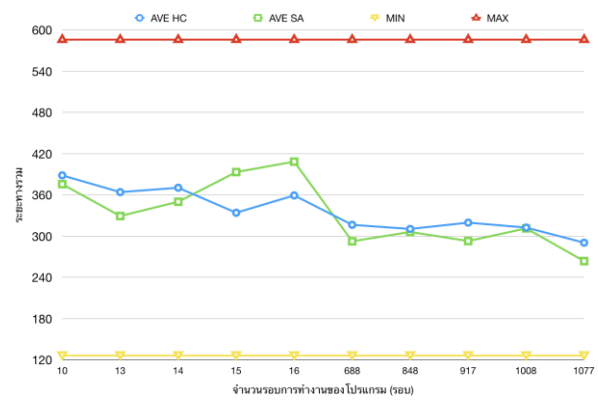
ภาพที่ 9 กราฟเปรียบเทียบเมื่อชั้นมีจำนวนช่องทางเดิน 10 ช่อง



ภาพที่ 10 กราฟเปรียบเทียบเมื่อชั้นมีจำนวนช่องทางเดิน 15 ช่อง



ภาพที่ 11 กราฟเปรียบเทียบเมื่อชั้นมีจำนวนช่องทางเดิน 20 ช่อง



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบเมื่อชั้นมีจำนวนช่องทางเดิน 30 ช่อง

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลลัพธ์ทั้งหมด

จำนวนช่อง ทางเดิน	ขั้นตอนวิธี	จำนวนรอบในการทำงานของโปรแกรม									
		10	13	14	15	16	688	848	917	1008	1077
5	HCA	70.8	62	68	62.4	59.2	58	58	58	58	58
	SA	66	65.6	64	62.8	60	58	58	58	58	58
10	HCA	151.6	138	130.8	116.8	123.6	101.2	101.6	97.6	97.6	88.8
	SA	142	131.6	128.8	125.2	124	96	93.2	88.8	93.6	82.4
15	HCA	184.4	171.6	169.2	175.6	166	146.8	142	136.8	140.4	138.4
	SA	167.6	174	170.4	170.4	171.2	140.8	134	133.6	139.2	133.2
20	HCA	250	263.2	236.4	232.8	240.8	204	202.4	199.2	200.4	191.8
	SA	246	238.8	240.4	239.6	248.8	198.8	202.4	195.6	202	189.8
30	HCA	388.4	364	370.4	334	359.2	316.4	310.4	319.6	312.4	290.4
	SA	375.6	329.2	350	393.2	408.4	292.4	306	292.8	311.2	263.6

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มเข้าใกล้ค่า Optimal แสดงให้เห็นว่าจำนวนรอบมีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ยิ่งจำนวนรอบมากผลลัพธ์ที่ได้ยิ่งดี แต่เวลาในการทำงานของโปรแกรมก็สูงขึ้นเช่นเดียวกัน เช่นเดียวกับ SA หากค่า T เริ่มต้น และอัตราการลดลง (α) ยิ่งสูง จำนวนรอบยิ่งสูงตาม โอกาสในการรับคำตอบที่ดีก็สูงขึ้นส่งผลให้การทำงานของโปรแกรมช้าตามไปด้วย ในส่วนของจำนวนช่องทางเดิน (ขนาดของปัญหา) เมื่อจำนวนช่องทางเดินน้อย ผลต่างระหว่างคำตอบกับค่า minimal จะน้อยมากหรือเป็นศูนย์ และเมื่อจำนวนช่องทางเดินมากขึ้นผลต่างจะมากขึ้นตามจำนวนช่องทางเดิน โดยที่ผลลัพธ์ของ HCA กับ SA นั้น หากจำนวนช่องไม่มากผลลัพธ์จะไม่ต่างกันไม่มากนัก แต่เมื่อจำนวนมากขึ้น SA จะได้ผลลัพธ์ดีกว่า HCA เนื่องจาก SA ยอมรับผลลัพธ์ที่ดีกว่าเพื่อหนี Local Minimal แต่ HCA รับแค่ผลลัพธ์ที่ดีกว่าจึงติดอยู่ใน Local คำตอบที่ได้จึงเปลี่ยนแปลงไม่มาก

5. สรุปผล (Conclusion)

งานวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหา Traveling Salesman ในคลังสินค้า โดยใช้ Hill Climbing และ Simulated Annealing Algorithms บนโปรแกรม Microsoft Excel ด้วยตัวแปรที่แตกต่างกันไปทั้ง จำนวนรอบในการทำงานของโปรแกรม , ค่า T เริ่มต้น , อัตราการลดลงของ T (α) และ จำนวนช่องทางเดิน ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าภาพรวมได้คำตอบที่ดีขึ้น สามารถสรุปได้ว่าจำนวนรอบในการทำงานของโปรแกรมมีผลต่อคำตอบของ Hill Climbing Algorithm เช่นเดียวกับ T เริ่มต้น และ α มีผลต่อคำตอบของ Simulated

Annealing Algorithm ยิ่ง α มากส่งผลให้รอบการทำงาน ของโปรแกรมมากขึ้น คำตอบที่ได้เข้าใกล้ Optimal มากขึ้น แต่เวลาในการทำงานของโปรแกรมก็สูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้น ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะว่า จำนวนรอบในการทำงานของ โปรแกรมควรเหมาะสมต่อจำนวนช่องทางเดิน ในส่วนของ Simulated Annealing Algorithm นั้น T เริ่มต้น ควร สัมพันธ์กับ α โดยคำนึงถึงจำนวนช่องทางเดินเช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้หากไม่ได้รับการช่วยเหลือจากนายตฤณ ปฐมนิธิบุญญู ที่ช่วยค้นคว้า วิเคราะห์ และ ให้คำแนะนำ

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

[13] ศรี กิจการ, et al. "การ ออกแบบ เพื่อ เพิ่ม ประสิทธิภาพ เสน.ทาง เติรณร ชนส.] เครื่องสำอาง: กรณื ศึกษา." วารสาร วิชาการ อุตสาหกรรม ศึกษา 7.2(2014)

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [1] Wenrong, et al. "An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations." European Journal of Operational Research (2016): 107-122.
- [2] Key, Ryan, and Anurag Dasgupta. "Warehouse Pick Path Optimization Algorithm Analysis." (WorldComp), 2015.
- [3] Theys, Christophe, et al. "Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses." European Journal of Operational Research 200.3 (2010): 755-763.
- [4] Hui, Wang. "Comparison of several intelligent

algorithms for solving TSP problem in industrial engineering. *Systems Engineering Procedia* *Systems Engineering Procedia* 4 (2012): 226-235.

[5] Ondřej, Míča. "Comparison of metaheuristic methods by solving travelling salesman problem." *Proceedings of the 9th International Scientific Conference INPROFORUM* Jihočeská univerzita v Českých

[6] Ansari, Abdul Quaiyum, and Sapna Katiyar. "Comparison and analysis of solving travelling salesman problem using GA, ACO and hybrid of ACO with GA and CS." 2015

[7] Adewole, A. P., et al. "A comparative study of simulated annealing and genetic algorithm for solving the travelling salesman problem." *International Journal of Applied Information Systems (IJ AIS)* 4.4 (2012): 6-12

[8] Özcan, Samet C., and Hilal Kaya. "An Analysis of Travelling Salesman Problem Utilizing Hill Climbing Algorithm for a Smart City Touristic Search on OpenStreetMap (OSM)." *IEEE*, 2018.

[9] Jiang, Tuping, Gang Ren, and Xing Zhao. "Evacuation route optimization based on Tabu search algorithm and hill-climbing algorithm." *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 96 (2013): 865-872.

[10] Behnck, Lucas P., et al. "A modified simulated annealing algorithm for UAVs path planning." *IFAC-PapersOnLine* 48.10 (2015): 63-68.

[11] Grabusts, Peter, Jurij Musatovs, and Vladimir Golenkov. "The application of simulated annealing method for optimal route detection between objects." *Procedia Computer Science* 149 (2019): 95-101.

[12] Goodrich, Michael T., and Roberto Tamassia. *Algorithm design and applications*. Wiley Publishing, 2014.

[14] Cárdenas-Montes, Miguel. "Creating hard-to-solve instances of travelling salesman problem." *Applied Soft Computing* 71 (2018): 268-276.

[15] Al-Betar, Mohammed Azmi. "\$\beta\$-Hill climbing: an exploratory local search." *Neural Computing and Applications* 28.1 (2017): 153-168.

[16] Kirkpatrick, Scott, C. Daniel Gelatt, and Mario P. Vecchi. "Optimization by simulated annealing." *science* 220.4598 (1983): 671-680.

[17] Du, Ke-Lin, and M. N. S. Swamy. "Search and optimization by metaheuristics." Birkhauser: Basel, Switzerland (2016).

[18] Aleksendric, Dragan, and Pierpaolo Carlone. *Soft Computing in the Design and Manufacturing of Composite Materials: Applications to Brake Friction and Thermoset Matrix Composites*. Woodhead Publishing, 2015.

[19] Henderson, Darrall, Sheldon H. Jacobson, and Alan W. Johnson. "The theory and practice of simulated annealing." *Handbook of metaheuristics*. Springer, Boston, MA, 2003. 287-319.

การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง
กรณีศึกษา โรงงานผลิตชุดสายไฟรถยนต์
Vehicle routing improvement for cost reduction
A case study: Wire harness manufacturing

ก้าวหน้า จงวัฒนารักษ์¹, เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร², ฤทธิชัย สังขทิพย์³

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
833 ถ.พระราม 1 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

kaonadod@gmail.com

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ที่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอลำลูกเกด จังหวัดปทุมธานี 12110

chalermstak.t@en.rmutt.ac.th

³ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
833 ถ.พระราม 1 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

namieptwit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ทำการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง โดยการวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสม และใช้เวลาในการขนส่งต่อรอบที่สั้นที่สุดในการขนส่งสินค้าจากโรงงานกรณีศึกษา ไปยังลูกค้าในเขตภาคกลางทั้งหมด 4 แห่ง ในความเป็นจริงแล้ว เวลาที่ใช้ในการเดินทางขนส่งสินค้าในเส้นทางใด ๆ จะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาพการจราจรบนท้องถนนในแต่ละช่วงเวลา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์ของการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่คำนึงถึงเวลาของการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาของวัน และกำหนดให้ช่วงเวลาเดินทางใน 1 วัน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้าและช่วงบ่าย ซึ่งทั้ง 2 ช่วงเวลา มีการใช้เวลาเดินทางที่ไม่เท่ากัน ในแต่ละเส้นทางผลการวิจัยสามารถจัดเส้นทางเดินรถที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่ำที่สุดได้ภายในเวลาที่ผู้วิจัยกำหนด แล้วนำมาสร้างขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับพนักงานจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง โดยงานวิจัยนี้ สามารถลดระยะทางในการเดินรถได้เฉลี่ยร้อยละ 4.2% และเป็นผลให้ต้นทุนในการขนส่งลดลง 7.65%

คำสำคัญ (Key word): ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ, ต้นทุนการขนส่ง

Abstract

This research aimed to provide vehicle routing to reduce transportation cost by analyzing suitable routes and shortest time of delivering the products from the case-study factories in central region, totaling 4 locations. In fact, delivery time on any routes is unstable, but it is corresponding with road traffics in each period of time. This study aimed to develop a mathematical model for arranging routes of delivery cars by recognizing travel time in each period of a day including morning and afternoon. The travel time in the morning and in the afternoon was not equal on each route. The research findings could be employed to arrange routes with lowest operating costs within the time specified by the researcher and to create computer-based procedures to facilitate officers arranging delivery routes. This research could decrease distance for 4.2% in average and reduce the transport cost could decrease accounted for 7.65%

Keywords: Vehicle Routing Problem, Transportation cost

1. บทนำ (Introduction)

การขนส่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจเกือบทุกธุรกิจในประเทศไทย ซึ่งสนับสนุนกิจกรรมในการขนย้ายวัตถุดิบ ซึ่งเป็นปัจจัยในการผลิต จนถึงกิจกรรมส่งสินค้าให้กับลูกค้า โดยกิจกรรมดังกล่าวจะเกิดต้นทุนในการขนส่ง เช่น ค่าน้ำมัน ค่าบำรุงรักษารถบรรทุก ค่าคนขับรถบรรทุก เป็นต้น ดังนั้นการบริหารจัดการการให้การขนส่งให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จะเป็นวิธีที่จะทำให้ต้นทุนดังกล่าวต่ำลง และส่งผลให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำลงเช่นกัน สำหรับบริษัทการศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตชุดสายไฟในรถยนต์ มีโรงงานตั้งอยู่อำเภอบางปะหัน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีลูกค้าอยู่ในเขตภาคกลางของประเทศไทย ทั้งหมด 4 แห่ง

ปัจจุบันการขนส่งสินค้าไปหาลูกค้าทั้ง 4 แห่งพบว่ายังไม่มีจัดการที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ พนักงานไม่สามารถประเมินเวลาในการขนส่งออก ไม่ทราบระยะทางของแต่ละเส้นทาง เช่น จากบริษัทการศึกษาไปหาลูกค้า หรือจากลูกค้าที่ 1 ไปหาลูกค้าที่สอง อีกทั้งในช่วงเวลาในแต่ละช่วงเวลา จะแปรผันตามสภาพการจราจรบนท้องถนนในแต่ละช่วงเวลา ทำให้เกิดปัญหาตามมามากมาย เช่น ส่งของไม่เวลา กำหนดจำนวนลูกค้าที่จะส่งน้อยไปทำให้ต้องติดรถเปล่ามารับสินค้าไปส่งเพิ่ม จากการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือน ตามตารางที่ 1 พบว่าต้นทุนขนส่งสินค้าสูงกว่าเป้าหมายที่ทางบริษัทกำหนดไว้ที่ต้องไม่เกิน 3% หรือไม่เกิน 3.32 บาทต่อชิ้น

ตารางที่ 1 ต้นทุนการส่งสินค้าต่อหน่วย มีนาคม-พฤษภาคม 2561

มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	เฉลี่ย
4.34 บาท	4.56 บาท	4.43 บาท	4.44 บาท

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่งสินค้าโดยวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสม และใช้เวลา

ในการขนส่งรอบที่สั้นที่สุดในการขนส่งสินค้าจากโรงงานการศึกษา ไปยังลูกค้าในเขตภาคกลางทั้งหมด 4 แห่ง แล้วนำมาสร้างขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับพนักงานจัดเส้นทางการขนส่ง เพื่อให้ง่ายในการง่าย เพื่อตัดสินใจในการวางแผนการขนส่งในแต่ละวัน

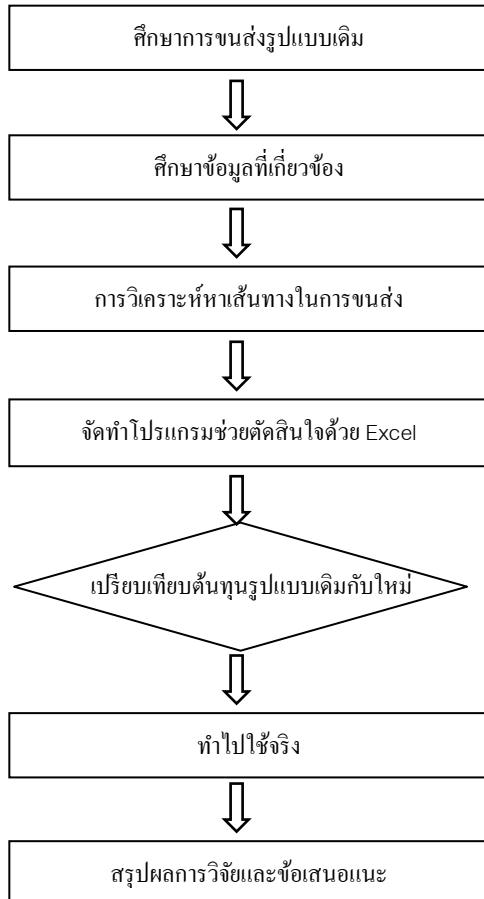
ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem)

โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น (Integer Linear Programming) มาช่วยคำนวณระยะทางที่เหมาะสมในแต่ละเส้นทาง เนื่องจากปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาคำนวณขนาดเล็ก จำนวนลูกค้าในแต่ละเส้นทางมีไม่เกิน 40 ราย [1] ดังนั้น การเลือกใช้วิธีนี้ จะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดและใช้ระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่สั้น โดยมีเงื่อนไขในเรื่องของความต้องการลูกค้าที่แน่นอนและมีข้อจำกัดในเรื่องของด้านเวลาอย่างไม่เคร่งครัด (Soft time windows) มาเป็นตัวแปรในการกำหนดจุดที่มีการรับส่งสินค้า เนื่องจากลูกค้าแต่ละรายสามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการรับสินค้าให้เร็วขึ้นได้ในบางช่วงเวลา การประยุกต์ใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้น (Integer Linear Programming) มีใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Kantasa-ard [2] ได้ทำการศึกษาและค้นหาวีธีที่ดีที่สุดในการจัดสรร “จำนวนพาเลทสินค้า” ให้เพียงพอ กับปริมาณรถและจำนวนวันที่จะต้องทำการขนย้ายไปที่คลังสินค้าแห่งใหม่ หรือ Chaiwongsakda and et.al. [3] ได้ดำเนินการแปลงรูปสมการตัวแบบการเดินทางของพนักงานขนส่งน้ำดื่ม โดยผู้วิจัยได้นำโปรแกรมเชิงเส้นมาช่วยในการคำนวณหาเส้นทางขนส่งสินค้า ทั้งนี้ในแต่ละกรณีศึกษาจะต้องกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (Relevant parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) และเงื่อนไขอื่นๆ อีกมากมายที่นำมาใช้ในการสร้างสมการ

แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้น

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

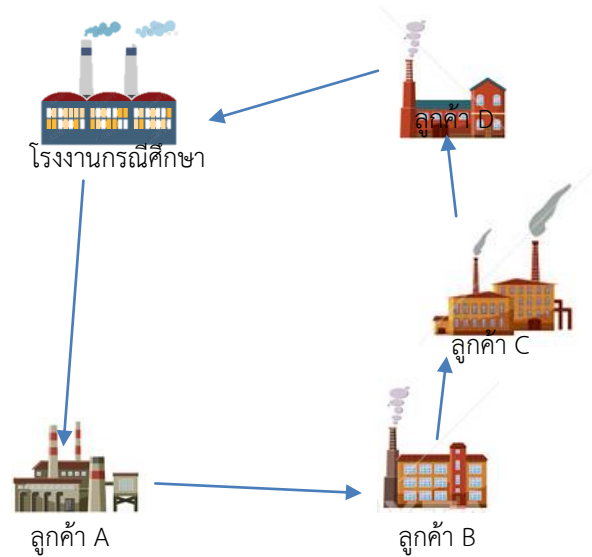
การวิจัยนี้ได้กำหนดวิธีการดำเนินการและขั้นตอนเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยมีลำดับขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 1



3. ผลการวิจัย (Results)

3.1 ศึกษาการขนส่งรูปแบบเดิม

รูปแบบเดิมพนักงานวางแผนการส่งสินค้าจะทำการส่งสินค้า 2 วัน นั่นคือวัน อังคาร และวันพฤหัสบดีของทุกๆ อาทิตย์ โดยส่งสินค้าตามลำดับมีลูกค้า 4 แห่งได้แก่ A, B, C, D ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปแบบการขนส่งปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา

โดยระยะทางในการขนส่งในแต่ละช่วงมีระยะทางที่ไม่เท่ากัน ซึ่งพนักงานจะวางแผนการส่งสินค้าให้ลูกค้าในจุดแรกคือลูกค้า A เพราะว่าจะมีระยะทางอยู่ใกล้ที่สุดและตามด้วย B, C, D ตามลำดับ จะเป็นการขนส่งทั้ง 4 แห่งแต่น้อยสุดไม่ต่ำกว่า 3 ซึ่งระยะทางที่ได้จาก Google Map สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระยะทางในการขนส่งสินค้า (หน่วย: กิโลเมตร)

	โรงงาน	ลูกค้า A	ลูกค้า B	ลูกค้า C	ลูกค้า D
โรงงาน	0	67	87	107	111
ลูกค้า A	65	0	20	40	44
ลูกค้า B	93	22	0	20	24
ลูกค้า C	109	39	19	0	4
ลูกค้า D	111	42	25	4	0

ซึ่งลูกค้าแต่ละแห่งมีขั้นตอนการรับสินค้าที่ต่างต่างกัน เช่น บางแห่งมีการตรวจสอบสินค้า 100% บางแห่งใช้วิธีการสุ่มตรวจสอบสินค้า โดยจากการเก็บข้อมูลเวลาในการลงสินค้าของลูกค้าแต่ละแห่งตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลาเฉลี่ยในการลงสินค้าของลูกค้าแต่ละแห่ง

ลูกค้า A	ลูกค้า B	ลูกค้า C	ลูกค้า D
32.5 นาที	43.6 นาที	27.4 นาที	37.5 นาที

3.2 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลเวลาในการขนส่งมีผลกระทบเป็นอย่างมากใน

การวางแผนการขนส่งในแต่ละครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลเวลาในการเดินทางในแต่ละช่วง ผู้วิจัยคำนึงถึงเวลาของการเดินทางในแต่ละช่วงเวลาของวัน และกำหนดให้ช่วงเวลาเดินทางใน 1 วัน แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือช่วงเช้าคือ 8.00-12.00 น.ดังตารางที่ 4 และช่วงบ่ายคือ 12.00-16.00 น.ตามตารางที่ 5 ซึ่งทั้ง 2 ช่วงเวลามีการใช้เวลาเดินทางที่ไม่เท่ากัน โดยการเก็บข้อมูลดังกล่าวใช้โปรแกรม Google Map

ตารางที่ 4 เวลาเฉลี่ยในการเดินทางในช่วงของเส้นทางการขนส่ง
ในช่วงเวลา 8.00-12.00 น.(หน่วย:นาที)

	โรงงาน	ลูกค้า A	ลูกค้า B	ลูกค้า C	ลูกค้า D
โรงงาน	0	93	113	142	140
ลูกค้า A	88	0	32	43	61
ลูกค้า B	132	41	0	31	32
ลูกค้า C	149	64	30	0	10
ลูกค้า D	157	71	42	12	0

ตารางที่ 5 เวลาเฉลี่ยในการเดินทางในช่วงของเส้นทางการขนส่ง
ในช่วงเวลา 12.00-16.00 น.(หน่วย:นาที)

	โรงงาน	ลูกค้า A	ลูกค้า B	ลูกค้า C	ลูกค้า D
โรงงาน	0	81	106	140	133
ลูกค้า A	80	0	24	45	58
ลูกค้า B	122	32	0	27	29
ลูกค้า C	147	56	27	0	7
ลูกค้า D	155	63	43	9	0

3.3 การวิเคราะห์หาเส้นทางในการขนส่ง

การวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสม โดยการขนส่งสินค้าจากบริษัทกรณีศึกษาทั้งหมด 3 กรณีคือ

- 1) ส่งสินค้า 4 แห่ง
- 2) ส่งสินค้า 3 แห่ง

ตารางที่ 6 เส้นทางที่เกิดขึ้นในกรณี ส่งสินค้า 4 แห่ง

เส้นทาง	เวลาขนส่ง ช่วงเช้า	เวลาขนส่ง ช่วงเย็น	ระยะทาง (กิโลเมตร)
A-B-C-D	464	435	222
A-B-D-C	459	431	224
A-C-B-D	496	478	261
A-C-D-B	461	419	229
A-D-B-C	517	497	265
A-D-C-B	469	438	243
B-A-C-D	505	486	264
B-A-D-C	517	493	266
B-C-A-D	567	543	301
B-C-D-A	454	424	218
B-D-A-C	549	531	302

B-D-C-A	450	421	219
C-A-B-D	568	574	301
C-A-D-B	582	560	308
C-B-A-D	572	553	303
C-B-D-A	504	480	257
C-D-A-B	528	497	266
C-D-B-A	464	443	223
D-A-B-C	564	535	302
D-A-C-B	557	531	374
D-B-A-B	545	520	271
D-B-C-A	506	480	260
D-C-A-B	521	485	283
D-C-B-A	452	422	221

ตารางที่ 7 เส้นทางที่เกิดขึ้นในกรณี ส่งสินค้า 3 แห่ง

เส้นทาง	เวลาขนส่ง ช่วงเช้า	เวลาขนส่ง ช่วงเย็น	ระยะทาง (กิโลเมตร)
A-B-C	305	279	216
A-C-B	298	275	219
B-C-A	296	269	211
B-A-C	346	330	258
C-A-B	370	342	259
C-B-A	301	279	213
B-C-D	311	295	222
B-D-C	306	291	224
C-B-D	361	351	261
C-D-B	326	312	229
D-B-C	362	350	265

ตารางที่ 7 เส้นทางที่เกิดขึ้นในกรณี ส่งสินค้า 3 แห่ง (ต่อ)

เส้นทาง	เวลาขนส่ง ช่วงเช้า	เวลาขนส่ง ช่วงเย็น	ระยะทาง (กิโลเมตร)
D-C-B	314	291	227
A-C-D	303	288	222
A-D-C	315	295	224
C-A-D	424	409	301
C-D-A	311	290	218
D-A-C	403	388	302
D-C-A	304	278	219
A-B-D	314	289	222
A-D-B	328	304	229
B-A-D	372	351	264
B-D-A	304	278	218
D-A-B	375	342	266
D-B-A	311	288	223

3.4 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ผู้วิจัยทำการวิเคราะห์หาเส้นทางในการขนส่งที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ เทคนิค

โปรแกรมเชิงเส้น (Integer Linear Programming) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจะใช้คำนวณระยะทางจากโรงงานไปยังลูกค้าทุกแห่ง และทางผู้วิจัยจะดำเนินการนำจำนวนจุดรับส่งสินค้าของแต่ละเที่ยวรถมาจัดเรียงลำดับการขนส่งในสมการ (1) เพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุดในการรับสินค้าจากลูกค้าแต่ละราย ซึ่งมีรายละเอียดตามสมการต่อไปนี้

ค่าพารามิเตอร์ (Parameters):

n = จำนวนลูกค้าทั้งหมด

D_{ij} = ระยะทางจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j

S = จำนวนลูกค้าในแต่ละเส้นทาง

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) :

$Y_{ij} = 1$ เลือกเส้นทางการขนส่งจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j , 0 ไม่ได้เลือกเส้นทางดังกล่าว

สมการวัตถุประสงค์ (Objective function) : ต้องการหาระยะทางในการขนส่งต่อรอบที่สั้นที่สุด

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij} Y_{ij} \quad (1)$$

3.5 จัดทำโปรแกรมช่วยตัดสินใจด้วย Excel

นำเอาข้อมูลเส้นทางทั้งหมดมาทำการจัดทำเป็นโปรแกรมช่วยตัดสินใจ ด้วย excel

ลูกค้าที่จะไปส่งสินค้า

☒ เลือกจากระยะทางที่สั้นที่สุด

ออกจากระยะทาง: 9:30 AM

ลูกค้า	เวลาที่ถึง	ลำดับการส่งที่สั้นที่สุด	ระยะทาง
☐ ลูกค้า A			
☒ ลูกค้า B	10:28 AM	B-C-A	211
☒ ลูกค้า C	11:43 AM		
☒ ลูกค้า D	12:16 PM		

* เลือกลูกค้าที่จะส่งสินค้า

☒ เลือกตามความสำคัญเร่งด่วน

ลูกค้า	เวลาที่ถึง	ลำดับการส่งที่สั้นที่สุด	ระยะทาง
1 ลูกค้า A	11:03 AM		
3 ลูกค้า B	12:52 PM	A-C-B-D	267
2 ลูกค้า C	12:18 PM		
4 ลูกค้า D	1:12 PM		

* ได้ผลลำดับในจอแล้ว

โดยรูปแบบการแสดงผลจากการประมวลผลจะแสดงสองกรณีคือ

1.เลือกจากระยะทางที่สั้นที่สุด หากต้องการเลือกระยะทางที่สั้นที่สุด โปรแกรมจะลำดับการส่งสินค้าให้มีระยะทางที่สั้นที่สุด และแสดงเวลาที่คาดว่าจะถึงในแต่ละจุดให้ด้วย โดยรวมกับเวลาเฉลี่ยของการลงสินค้าแล้ว

2.เลือกตามความสำคัญเร่งด่วน หากมีเหตุที่ไม่สามารถเลือกภายใต้เงื่อนไขแรกได้ สามารถเลือกลำดับการส่งได้เอง

และยังแสดงเวลาที่คาดว่าจะถึงในแต่ละจุดให้ด้วย โดยรวมกับเวลาเฉลี่ยของการลงสินค้าแล้วด้วยเช่นกัน

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการปรับปรุงทำให้บริษัทกรณีศึกษาลดปัญหาการตัดสินใจผิดพลาดจากการไม่ทราบระยะทาง ไม่ทราบระยะเวลาในการขนส่งในแต่ละช่วง ของพนักงานวางแผนการส่งสินค้า ซึ่งเป็นปัจจัยให้เกิต้นทุนในการขนส่งที่สูงเกินไป เช่น ค่าน้ำมัน ค่าบำรุงรักษารถบรรทุก ค่าคนขับรถบรรทุก เป็นต้น โดยแสดงให้เห็นในต้นทุนการส่งสินค้าต่อหน่วย

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลการปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง กรณีศึกษา โรงงานผลิตชุดสายไฟรถยนต์ สามารถลดระยะทางในการเดินรถได้เฉลี่ยร้อยละ 4.2% และเป็นผลให้ต้นทุนในการขนส่งลดลง 7.65% หรือ 4.10 บาทต่อหน่วย

นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสามารถนำเสนอให้เห็นว่าการใช้เทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม รวมถึงการลดต้นทุนค่าขนส่งที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้ขอขอบคุณ โรงงานผลิตชุดสายไฟรถยนต์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พรุพท์ มะยะเฉี่ยว, การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้ง, วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, 6(1), หน้า 132-145, 2557
- [2] Kantasa-ard A. Optimization of the number of relocated automotive spare-part pallets using linear programming model. Proceedings of the 3rd RMUTT Global Business and Economics International Conference; 2017 May 25-26; Pathumthani, Thailand. Pathumthani: p. 153-63. RTBEC; 2017.
- [3] Chaiwongsakda N, Ananaue P, Jeenaboonrueang N, Winyangkul S, Sinnarong K, Jakkaew T, et al. Vehicle routing by using a saving algorithm and the traveling salesman problem: a case study of a drinking water factory. Thai Journal of Operations Research;3:51-61, 2015

- [4] คานาย อภิปรัชญาสกุล, การจัดการต้นทุนโลจิสติกส์, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิง, 2557
- [5] ฉัตรชัย ไม้อุดม, การจัดเส้นทางเดินรถรับ-ส่งพนักงาน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551
- [6] ญัฐกาญจน์ โพธิ์สัมฤทธิ์และวิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง-พัสดุดังกล่าว, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 20 ฉบับที่ 3 (ก.ย.-ธ.ค. 2553) หน้า 544-551. /, 2553
- [7] Rousseau, L.-M., Gendreau, M., & Feillet, D., Interior point stabilization for column generation. Operations Research Letters, 35, 660-668 (2007).
- [8] Bolduc, M.-C., Laporte, G., Renaud, J., & Boctor, F. F., A tabu search heuristic for the split delivery vehicle routing problem with production and demand calendars. European Journal of Operational Research, 202, 122-130 (2010).
- [9] สมชาย ปฐมศิริ. คู่มือวิทยาการจัดการจัดการขนส่ง โครงการพัฒนาหลักสูตรและการฝึกอบรมโลจิสติกส์ และซัพพลายเชน: สำนักรงานอุดมศึกษาแห่งชาติ, 2551.
- [10] G. Clarke and J.V. Wright , “Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points,” Operations Research, Vol. 12, pp. 568–581, 1964.
- [11] วิจิตร ตัณฑสุทนต์ วันชัย ริจิรวนิช และ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การการวิจัยดำเนินงาน ภาค DETERMINISTIC. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2554.
- [12] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. เอกสารคาสอนวิธีการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่างสำหรับแก้ปัญหาการขนส่งโลจิสติกส์ บทที่ 5 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย. คณะ วิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2556.
- [13] ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร. “การลดต้นทุนการขนส่ง โดยการจัดเส้นทางพาหนะที่เหมาะสม กรณีศึกษา ธุรกิจเครื่องดื่ม ขานม,” วารสารปัญญาวิวัฒน์, ปีที่ 5 (ฉบับพิเศษ), หน้า 272-279, 2557

การออกแบบระบบดับเพลิงในอาคารศูนย์ข้อมูลด้วยสารสะอาด Design of Clean Agent Fire Suppression in Data Center Building

ทวิทย์ บุญทริกศิริ^{1*}, เลิศเลขา ศรีรัตน², กฤษดา พิศลยบุตร³, สิริวัลภ์ เรืองช่วย ตู้ประกาย⁴

¹ สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก กรุงเทพมหานคร 10240 tavitb@siemens.com

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก กรุงเทพมหานคร 10240 lerdlekha_s@ru.ac.th

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก กรุงเทพมหานคร 10240 Akemail@gmail.com

⁴ โปรแกรมวิชาสิ่งแวดล้อมเมืองและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต

บางพลัด ถนนสีรินธร กรุงเทพฯ 10700 sirawanr@gmail.com

บทคัดย่อ

กฎหมายควบคุมอาคารได้กำหนดให้อาคารควบคุมต้องมีระบบดับเพลิงอัตโนมัติซึ่งระบบดับเพลิงสำหรับห้องพิเศษมักถูกออกแบบให้ใช้สารสะอาด (Clean Agent) ซึ่งเป็นสารดับเพลิงที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สารสะอาดมีหลายชนิดโดยถูกกำหนดในมาตรฐาน NFPA2001 ดังนั้นการเลือกใช้สารสะอาดให้เหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุดจึงจำเป็นต้องการออกแบบระบบดับเพลิงด้วย การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการเลือกใช้งานของสารสะอาดโดยเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติและกลไกการดับเพลิงรวมถึงสารตกค้างหรือสภาวะหลังการดับเพลิงของสารสะอาด โดยเลือกทำการออกแบบระบบดับเพลิงด้วยสารสะอาดสองชนิดตามมาตรฐาน NFPA2001 (Edition2018) คือ สารเคมี FK-5-1-12 (NOVEC1230) และก๊าซเฉื่อย IG100 (Nitrogen) และใช้อาคารศูนย์ข้อมูล (Data Center) แห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษาแล้วจึงทำการเปรียบเทียบการออกแบบระบบดับเพลิงทั้งสองชนิดในด้านคุณสมบัติของสารดับเพลิง กลไกในการดับเพลิง สารตกค้างและผลกระทบหลังการใช้งาน อุปกรณ์และวิธีการใช้งาน ราคาติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในการใช้งานและการบำรุงรักษา พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งและระยะเวลาการติดตั้งแล้วจัดทำสรุปการเปรียบเทียบในหัวข้อต่างๆ เสนอต่อผู้เชี่ยวชาญ, ผู้ใช้งาน และผู้เกี่ยวข้อง เพื่อให้เห็นต่อผลการเปรียบเทียบและเลือกใช้งาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์กลุ่ม (Focus Group) และจัดทำเป็นแผนผังการเลือกใช้สารสะอาดทั้งสองชนิดเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบดับเพลิงด้วยสารสะอาดในกรณีอื่นๆต่อไป จากการศึกษาพบว่าระบบดับเพลิงด้วยก๊าซ IG100 มีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากราคาถูกกว่าและสามารถติดตั้งในห้องเก็บถังได้

คำสำคัญ ; อาคารควบคุม; ระบบดับเพลิงอัตโนมัติ; สารสะอาด; ศูนย์ข้อมูล; การวิเคราะห์กลุ่ม

Abstract

In Thailand, Building Control Act prescribes that all controlled buildings must be provided the automated firefighting system for safety reasons. Also, in the special rooms of the building, the automatic clean agent fire extinguishing system is commonly adopted. Therefore, choosing the appropriate clean agent is vital when designing the fire extinguishing system in order to suit the room function. This study aims to evaluate the appropriate clean agent to be used in the server room of a given data center. The study was started from assessing the chemistry form of the selected agents, namely FK-5-1-12 (NOVEC1230) and IG100 (Nitrogen), reviewing the extinguishing basic and residual effect, considering the installation and maintenance costs, and finally making the possible and appropriate decision for this case study. This decision was then reviewed by the focus group including the experts, building user, and relevant persons. Moreover, the selection chart was developed for benefiting building designs further. From study, it can be concluded that IG100 would be more suitable for this server room compared to FK-5-1-12 due to lower costs and installation availability in the storage room.

Key word; Controlled building; Automatic Fire Extinguishing; Clean Agent; Data Center; Focus Group

1. บทนำ (Introduction)

อาคารควบคุมตามกฎหมายกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ข้อ 20) กำหนดให้อาคารสูงหรืออาคารขนาดใหญ่พิเศษต้องจัดให้มีระบบดับเพลิงอัตโนมัติ เช่น Sprinkler System หรือระบบอื่นที่เทียบเท่า ที่สามารถทำงานด้วยตัวเองได้ทันทีเมื่อมีเพลิงไหม้ โดยให้สามารถทำงานให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดทุกชั้น ในการออกแบบระบบดับเพลิงสำหรับห้องพิเศษส่วนมากนิยมออกแบบระบบดับเพลิงโดยใช้สารสะอาดซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม สารสะอาดถูกกำหนดอยู่ในมาตรฐาน NFPA2001 Edition2018 [1] ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสองประเภทหลักคือสารเคมีและก๊าซเฉื่อย

การเลือกใช้สารสะอาดให้เหมาะสมต่อการใช้งานของห้องป้องกันจึงเป็นสิ่งที่ควรพิจารณาเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าต่อการลงทุน มีความเหมาะสมต่อการใช้งานและชนิดของเชื้อเพลิง และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างหรือผลกระทบหลังการใช้งาน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของสารสะอาด กลไกในการดับไฟ สารตกค้างและผลกระทบหลังการใช้งาน การติดตั้งและพื้นที่ติดตั้ง ราคาติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการใช้งานและบำรุงรักษา และจัดทำแผนผังอย่างง่ายในการเลือกใช้งานระหว่างสารเคมีกับก๊าซเฉื่อยโดยใช้ห้องเก็บข้อมูล (Server Room) ในอาคารศูนย์ข้อมูล (Data Center) แห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษาการออกแบบจะพิจารณาเลือกใช้สารสะอาดสองชนิดคือ สารเคมี FK-5-1-12 และ ก๊าซเฉื่อย IG100 แล้วจึงออกแบบคำนวณปริมาณสารสะอาด [2] ประเมินราคาการติดตั้งและระยะเวลาติดตั้ง จากนั้นนำผลที่ได้จัดทำผลสรุปเปรียบเทียบ และจัดทำแผนผังเพื่อการพิจารณาเลือกใช้งานระหว่าง FK-5-1-12 และ IG100 แล้วทำการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญ, ผู้ใช้งานและผู้เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีวิเคราะห์กลุ่ม (Focus Group) เพื่อประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานในกรณีอื่นๆของผู้ที่สนใจ

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการเกิดไฟและการดับไฟ

ไฟจะลุกไหม้ขึ้นได้จะต้องมีองค์ประกอบสามประการคือ เชื้อเพลิงที่สามารถติดไฟได้ ความร้อนของเชื้อเพลิงสูงถึงจุดติดไฟ และออกซิเจนต้องมีปริมาณเพียงพอ (>15%) [3] การดับไฟจะต้องกำจัดองค์ประกอบของไฟอย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อให้ไฟไม่สามารถลุกไหม้ได้ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของไฟ

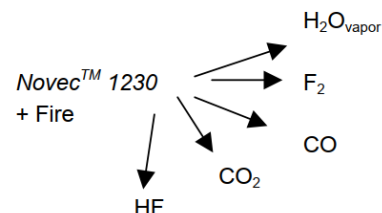
2.2 สารเคมี FK-5-1-12 (NOVEC1230)

เป็นสารเคมีที่ใช้ดับเพลิงที่จัดอยู่ในสารสะอาด มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง มีความดันไอที่ 0.4 บาร์ สามารถระเหยเป็นไอได้เร็วกว่าน้ำ 50 เท่า เมื่อระเหยเป็นไอแล้วจะแตกตัวเป็นโมเลกุลเล็ก 19 โมเลกุล และรวมตัวกับออกซิเจนและไฮโดรเจนในอากาศ บางส่วนจะเกิดเป็นก๊าซไฮโดรฟลูออไรด์ซึ่งมีสภาพเป็นกรด ถ้ามีจำนวนมากจะระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ มีสูตรและพันธะทางเคมีดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 พันธะเคมีของ FK-5-1-12

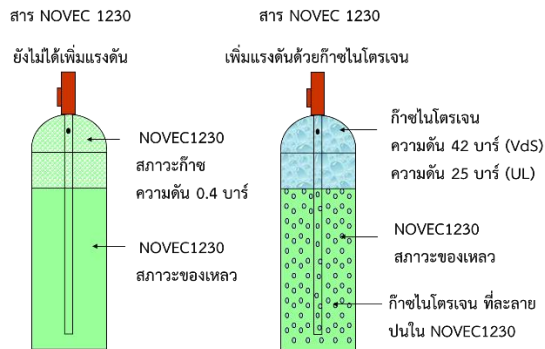
สารเคมี FK-5-1-12 ใช้ดับไฟได้ด้วยการฉีดพ่นให้เป็นละอองขนาดเล็ก (Mist) เข้าสู่ห้องที่ไฟไหม้ โดยต้องเป็นห้องปิดเพื่อให้ระเหยอย่างรวดเร็วและดึงความร้อนจากบริเวณรอบกองไฟ ทำให้อุณหภูมิรอบกองไฟและเชื้อเพลิงลดต่ำกว่าจุดติดไฟจึงทำให้ไฟดับ เป็นการดับไฟโดยการกำจัดความร้อนดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การแตกตัวของสารเคมี FK-5-1-12(NOVEC1230)

สารเคมี FK-5-1-12 นำมาใช้ดับไฟโดยการบรรจุในถังบรรจุ ตามปริมาณที่ต้องการซึ่งคำนวณจากขนาดปริมาตรของห้องป้องกัน และเพิ่มแรงดันในการฉีดสารด้วยการเติมก๊าซไนโตรเจนที่ความดัน 42 บาร์ ที่ 15°C (VdS) หรือ 25 บาร์ ที่ 15°C (UL) โดยสาร FK-5-1-12 มีสภาพเป็นของเหลวในถังบรรจุ ดังแสดงในภาพที่ 4 เมื่อฉีดพ่นออกมา

ด้วยแรงดันสูงจึงกลายเป็นละอองขนาดเล็ก



ภาพที่ 4 ถังบรรจุสารเคมี FK-5-1-12 (NOVEC1230)

2.3 ก๊าซไนโตรเจน IG100

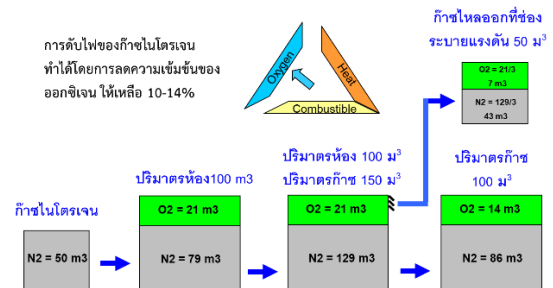
ไนโตรเจนเป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่ไวต่อความร้อน ไม่นำความร้อนและไม่ติดไฟ เป็นก๊าซที่เป็นส่วนประกอบหลักของอากาศแห้ง โดยมีส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 5 ทำให้จัดหาได้ง่ายและมีราคาถูก จึงถูกนำมาใช้ในการดับไฟ

Dry clean air is composed as follows:			
Nitrogen	(N ₂)	=	78.10 Vol. %
Oxygen	(O ₂)	=	20.90 Vol. %
Argon	(Ar)	=	0.93 Vol. %
Carbon Dioxide	(CO ₂)	=	0.03 Vol. %
Other gases	(-)	=	0.04 Vol. %

ภาพที่ 5 ส่วนประกอบของอากาศแห้ง

ก๊าซไนโตรเจนดับไฟได้ด้วยการฉีดเข้าไปภายในห้องที่เกิดไฟไหม้ซึ่งต้องเป็นห้องปิดที่มีช่องระบายแรงดัน (Relief Damper) เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนเข้าไปผสมกับอากาศและระบายออกทางช่องระบายแรงดันโดยจะนำออกซิเจนออกไปด้วย ทำให้ปริมาณออกซิเจนเจือจางลงจนน้อยกว่าจุดที่ไฟจะสามารถลุกไหม้ได้ (<15%) เป็นการดับไฟด้วยวิธีลดออกซิเจน (Oxygen Reduction System, ORS) [4] แต่ปริมาณออกซิเจนจะยังอยู่ในระดับที่ไม่น้อยจนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ (>10%) กลไกในการดับไฟของก๊าซไนโตรเจนแสดงในภาพที่ 6

กลไกการดับไฟของก๊าซไนโตรเจน



ภาพที่ 6 กลไกในการดับไฟของก๊าซไนโตรเจน

ก๊าซไนโตรเจนนำมาใช้โดยการบรรจุในถังบรรจุที่ความดัน 300 บาร์ มีสถานะเป็นก๊าซ โดยถังบรรจุมีขนาดปริมาตรเท่ากับ 80, 100 และ 140 ลิตรดังแสดงในภาพที่ 7

ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน



ภาพที่ 7 ถังบรรจุก๊าซไนโตรเจน

2.4 การออกแบบระบบดับเพลิงด้วยสารสะอาด

การออกแบบเป็นไปตามมาตรฐาน NFPA2001

(Edition2018) โดยการกำหนดความเข้มข้นของสารสะอาด
ที่ต้องใช้ในการออกแบบเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$DC = MEC * SF \quad (1)$$

เมื่อ DC = Design Concentration %

MEC = Minimum Extinguishing Concentration

FK-5-1-12 = 3.3%, IG100 = 31%

SF = Safety Factor

Class C = 1.35

และการหาปริมาณสารสะอาดที่ต้องใช้ ตามสมการที่ (2)

$$W = \frac{V}{S} \left[\frac{C}{100 - C} \right] \quad (2)$$

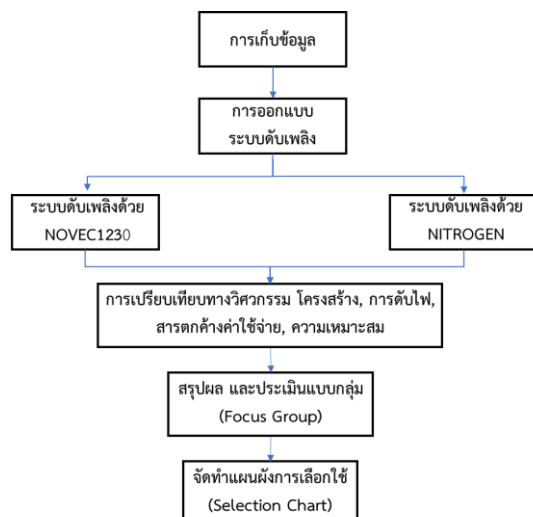
เมื่อ W = Quantity of clean agent (Kg)

V = Volume of protected room (M3)

S = Specific volume of clean agent (M3/Kg)

C = Design concentration (DC)

3. ขั้นตอนการศึกษา (Study Methodology)



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษา

จากภาพที่ 8 มีขั้นตอนในการศึกษา ดังนี้

1. เก็บรวบรวมข้อมูลของห้องป้องกันขนาดปริมาตรห้องและพื้นที่ติดตั้งถังบรรจุสารสะอาด
2. ออกแบบระบบดับเพลิงห้องป้องกันด้วยสารสะอาดทั้งสองชนิดคือ FK-5-1-12 และ IG100
3. เปรียบเทียบผลจากการประเมินการติดตั้งตามแบบรวมทั้งค่าใช้จ่าย และความเหมาะสม

4. สรุปผลการเปรียบเทียบ และทำการวิเคราะห์โดยวิธีประเมินแบบกลุ่ม แล้วสรุปการเลือกใช้

5. จัดทำแผนผังการเลือกใช้ (Selection Chart) สำหรับใช้เป็นเครื่องมือ ในกรณีอื่นๆ

4. ผลการศึกษา (Results)

จากการออกแบบระบบดับเพลิงในอาคารจะได้ว่า

4.1 ปริมาณสารที่ต้องใช้และการออกแบบติดตั้ง

จากการคำนวณจำนวนสาร FK-5-1-12 ที่ต้องใช้ คือ 1,280 กิโลกรัม บรรจุในถังขนาด 900 ปอนด์จำนวน 4 ถัง ถึงละ 320 กิโลกรัม ติดตั้งในห้องป้องกันดังแสดงในภาพที่ 9 ส่วนการคำนวณจำนวนก๊าซ IG100 [2] ที่ต้องใช้คือ 1,230 กิโลกรัม โดยใช้ถังขนาด 140 ลิตรจำนวน 29 ถัง ติดตั้งในห้องเก็บถังดังแสดงในภาพที่ 10

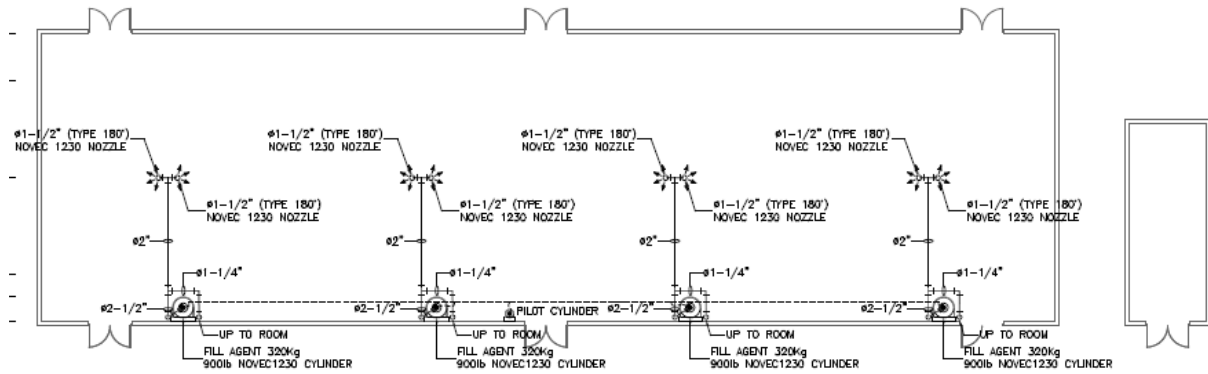
4.2 การเปรียบเทียบราคาและการติดตั้ง

จากแบบติดตั้งได้ประเมินราคาและระยะเวลาติดตั้งโดยบริษัทที่รับจ้างติดตั้งระบบดับเพลิงพบว่าราคาโดยรวมของระบบที่ใช้สาร FK-5-1-12 จะมีราคาสูงกว่า ยกเว้นราคาค่าวัสดุในการติดตั้งเนื่องจากต้องเดินท่อฉีดก๊าซไกลกว่าและวัสดุที่ใช้เป็นเกรดที่มีแรงดันสูงกว่าสาเหตุที่ทำให้ระบบที่ใช้สาร FK-5-1-12 มีการประเมินราคาติดตั้งที่สูงกว่าคือราคาของสาร FK-5-1-12 ซึ่งมีราคาสูงมากจึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการใช้งานสูงมากขึ้นด้วยดังรายละเอียดในตารางที่ 1

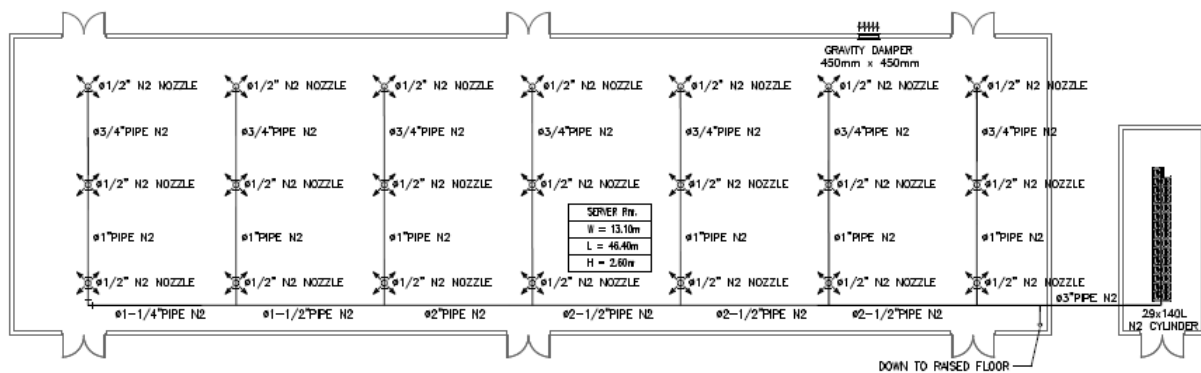
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบราคาการติดตั้ง

ข้อเปรียบเทียบ	NOVEC1230	IG100	ผลเปรียบเทียบ
ค่าอุปกรณ์และสารดับเพลิง	3,660,000.00	2,537,600.00	NOVEC สูงกว่า 44.23%
ค่าระบบควบคุม	87,500.00	87,500.00	ราคาเท่ากันเพราะระบบเหมือนกัน
ค่าวัสดุและงานติดตั้ง	1,200,000.00	1,400,000.00	NITROGEN สูงกว่า 14.28%
ราคาทั้งระบบ	4,947,500.00	4,025,100.00	NOVEC สูงกว่า 22.91%
ระยะเวลาการติดตั้ง	120 วัน	120 วัน	ระยะเวลาติดตั้งเท่ากัน
การเติมสารดับเพลิงต่อครั้ง	2,560,000.00	406,000.00	NOVEC1230 สูงกว่ามาก
พื้นที่ติดตั้งถังเก็บสาร	ติดตั้งในห้องป้องกัน	ติดตั้งในห้องเก็บถัง	NITROGEN ติดตั้งในห้องเก็บถังทำให้สะดวกต่อการซ่อมบำรุงและไม่เสียพื้นที่ในห้องป้องกัน

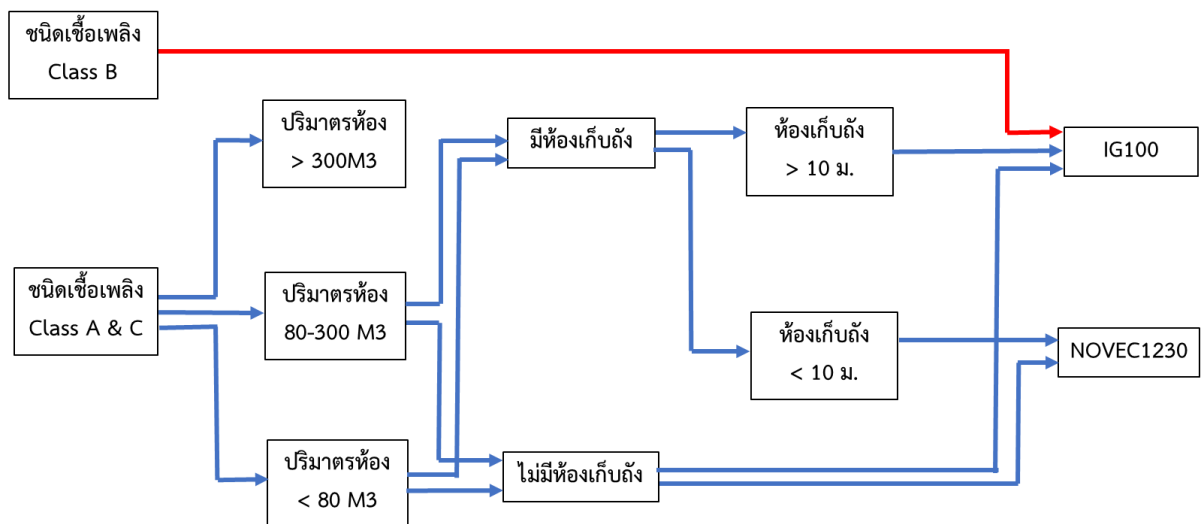
ดังนั้นจากตารางที่ 1 จึงสรุปได้ว่า IG100 มีความเหมาะสมในการใช้งานในห้องเก็บข้อมูลอาคารศูนย์ข้อมูลมากกว่า FK-5-1-12 ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของผู้ประเมินที่มีต่อการประเมินในการออกแบบระบบดับเพลิงครั้งนี้



ภาพที่ 9 แบบแสดงการติดตั้ง FK-5-1-12



ภาพที่ 10 แบบแสดงการติดตั้ง IG-100



ภาพที่ 11 แผนผังการเลือกใช้สารสะอาดระหว่าง FK-5-1-12 และ IG100

4.3 แผนผังการเลือกใช้สารสะอาด

จากแนวทางการออกแบบข้างต้น สามารถนำผลการวิเคราะห์มาจัดทำเป็นแผนผังการเลือกใช้สารสะอาด (Selection Chart) ระหว่าง FK-5-1-12 กับ IG100 เพื่อใช้ในกรณีอื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 11

ทั้งนี้การศึกษานี้ยังจำกัดเพียงแค่สารสะอาดสองชนิด คือ FK-5-1-12 และ IG100 ซึ่งในบางกรณีสารสะอาดชนิดอื่นๆอาจมีความเหมาะสมมากกว่า เช่นการดับเพลิงที่เป็นสารเคมี หรือ สารออกซิเดชันที่การดับไฟด้วยการลดออกซิเจนอาจไม่ได้ผลหรือชนิดของห้องป้องกันหรือเชื้อเพลิงความเสี่ยงเป็นต้น

5. อภิปรายผล (Discussion)

จากตารางที่ 1 สามารถวิเคราะห์และอภิปรายผลในการออกแบบระบบดับเพลิง ได้ดังนี้

5.1 ระบบดับเพลิงด้วยก๊าซ IG100

เนื่องจากเป็นก๊าซจึงต้องบรรจุในถังที่มีแรงดันสูง (300 บาร์) และต้องใช้ถังบรรจุจำนวนมาก จึงทำให้ราคาอุปกรณ์มีราคาสูงกว่า แต่ราคาก๊าซ IG100 ต่ำกว่ามากจึงราคาถูกกว่า โดยเฉพาะห้องที่มีขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้สารสะอาดจำนวนมาก ระบบดับเพลิงด้วยก๊าซ IG100 จำเป็นต้องมีห้องเก็บถังแยกต่างหากเนื่องจากต้องใช้ถังบรรจุจำนวนมาก แต่จากการที่มีแรงดันสูงและมีระยะเวลาฉีดก๊าซถึงสองนาที่ จึงสามารถสร้างห้องเก็บถังที่ไกลจากห้องป้องกันได้ทำให้หาพื้นที่ได้ง่ายเมื่อพิจารณาโดยรวมจึงเหมาะกับห้องป้องกันที่มีขนาดใหญ่ ใช้สารดับเพลิงมาก และมีพื้นที่สร้างห้องเก็บถังในอาคารได้

5.2 ระบบดับเพลิงด้วยสาร FK-5-1-12

สาร FK-5-1-12 มีข้อจำกัดคือไม่สามารถออกแบบให้ติดตั้งถังบรรจุสารในห้องเก็บถังที่ไกลออกไปได้ เนื่องจากมีข้อกำหนดระยะเวลาฉีดสารภายในเวลา 10 วินาทีตามมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องติดตั้งถังภายในห้องป้องกัน ซึ่งถึงมีขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 ซม.) และทำให้เสียพื้นที่ในห้องป้องกัน ทำให้การติดตั้งและบำรุงรักษามีความยุ่งยาก

สาร FK-5-1-12 มีราคาสูง (2,000 บาท / กิโลกรัม) ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานในห้องที่มีขนาดใหญ่ที่มีการใช้สารจำนวนมาก แต่การติดตั้งถังในห้องป้องกันทำให้การเดินท่อฉีดสารมีขนาดสั้นและใช้ท่อที่มีขนาดแรงดันต่ำกว่าทำให้ค่าการติดตั้งถูกกว่า จึงเหมาะกับห้องที่มีขนาดเล็ก

สำหรับการเลือกใช้สาร FK-5-1-12 ได้วิเคราะห์ถึงขนาดถังที่สามารถติดตั้งในห้องได้โดยไม่กระทบต่อการใช้พื้นที่ห้องคือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 30 ซม. ขนาดที่มี

ผลต่อพื้นที่ห้องแต่สามารถวางแผนหาพื้นที่ในห้องป้องกันได้คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 60 ซม. แต่ถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 60 ซม. ไม่ควรติดตั้งในห้องป้องกันและห้องเก็บถังไม่ควรห่างจากห้องป้องกันมากกว่า 10 เมตร

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติและความเหมาะสมของการออกแบบระบบดับเพลิงด้วยสารสะอาดในห้องเก็บข้อมูล ซึ่งจะทำให้เกิดความปลอดภัยและความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้ง เพื่อเป็นการยกระดับการจัดการในวงการอุตสาหกรรมศูนย์ข้อมูลได้อย่างยั่งยืน

6. สรุปผล (Conclusion)

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบดับเพลิงในอาคารศูนย์ข้อมูลโดยศึกษาคุณสมบัติของสารสะอาดทั้งสองชนิด คือ FK-5-1-12 ซึ่งเป็นสารเคมี และ IG100 ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติ เพื่อให้ทราบถึงกลไกในการดับไฟและสารตกค้างหรือผลกระทบหลังการฉีดสารสะอาดการนำมาใช้งาน การติดตั้งและค่าใช้จ่ายโดยใช้ห้องเก็บข้อมูลในอาคารศูนย์ข้อมูลซึ่งเป็นห้องขนาดใหญ่เป็นกรณีศึกษา ซึ่งผลการศึกษาพบว่าระบบดับเพลิงด้วยก๊าซ IG100 มีความเหมาะสมมากกว่าในด้านราคาค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และการติดตั้งที่ทางโครงการได้เตรียมห้องเก็บถังบรรจุสารไว้ให้ ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาเรื่อง “การคัดเลือกสารดับเพลิงที่เหมาะสมเพื่อนำมาทดแทนสารดับเพลิงชนิดเดิมด้วยกระบวนการตัดสินใจลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ กรณีศึกษา: อาคาร National ITMX Data Center” [5] ซึ่งใช้การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Expert Choice ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่า IG-100 เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักอยู่ที่ 43.6% และสารเคมี FK-5-1-12 ค่าน้ำหนักอยู่ที่ 25.8%

จากผลการศึกษายังพบว่าสาร FK-5-1-12 อาจมีความเหมาะสมกับห้องที่มีขนาดเล็กหรือห้องที่ไม่มีพื้นที่ติดตั้งถังบรรจุสารสะอาดขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาถึงขนาดห้องที่เหมาะสมกับระบบดับเพลิงด้วยสาร FK-5-1-12 ในบางกรณีที่มีความเหมาะสมมากกว่าการใช้สาร IG100

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณ ผู้ประเมินการติดตั้ง ผู้ร่วมทำการวิเคราะห์กลุ่ม และอาคารกรณีศึกษาที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

8. เอกสารอ้างอิง

[1] NFPA2001 (Edition 2018), National Fire Protection Associate, November 10, 2017

- [2] ถนอมศักดิ์ เขาวนเสริมสุข, การพัฒนาโปรแกรม
ออกแบบระบบดับเพลิงด้วยก๊าซเฉื่อย Microsoft Excel,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วันที่ 31 มกราคม 2560
- [3] ความรู้เกี่ยวกับการป้องกันอัคคีภัยในอาคาร, สำนัก
ควบคุมและตรวจสอบอาคาร สถาบันพัฒนาบุคลากร
ด้านการพัฒนาเมือง กรมโยธาธิการและผังเมือง,
กันยายน 2551
- [4] Patrick van Hees, John Barton, Martin Nelsson,
Brian Meacham, Review of Oxygen Reduction
System for Warehouse Storage Applications,
2018
- [5] ดำรงค์ศักดิ์ ลีนา, การคัดเลือกสารดับเพลิงที่เหมาะสม
เพื่อนำมาทดแทนสารดับเพลิงชนิดเดิมด้วยกระบวนการ
ตัดสินใจลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ กรณีศึกษา: อาคาร
National ITMX Data Center, วารสารบัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต ฉบับที่ 1 ประจำเดือน
สิงหาคม-พฤศจิกายน 2561

การประยุกต์ใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลเพื่อกำหนดระยะทางของคลังสินค้า An Application to Determine Warehouse Distance on Microsoft Excel

ตฤณ ปฐมนิธิภิญโญ¹, ผศ. ดร.คณศ พันธ์สุวาสดี²

¹ สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
เลขที่ 6 ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมืองนครปฐม นครปฐม 73000
p.trin.159@gmail.com

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
<mailto:kanate.engineer@gmail.com>

บทคัดย่อ

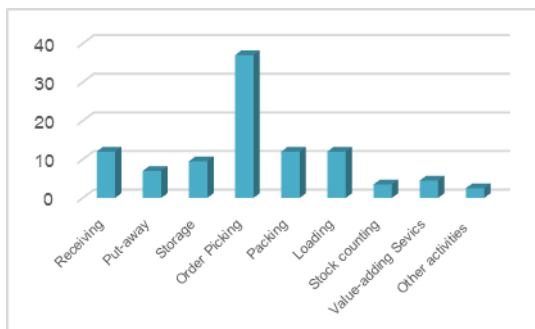
โดยทั่วไปคลังสินค้าหลาย ๆ แห่ง จะไม่มีข้อมูลระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้า งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดในการหาระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้า โดยใช้วิธีการร่างรูปคลังสินค้าลงบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล (Microsoft Excel) หลังจากนั้นโปรแกรมจะเปลี่ยนช่องทางเดินภายในคลังสินค้าให้เป็นโหนด (Node) โดยใช้รูปแบบโครงข่าย (Network Model) แล้วใช้สมการแมนแฮตตัน (Manhattan Equation) ในการหาระยะทางระหว่างโหนดที่อยู่ติดกัน เมื่อได้ระยะทางระหว่างโหนดแล้วจะใช้ขั้นตอนวิธีของฟลอยด์-วอร์เชล (The Floyd-Warshall Algorithm) มาหาระยะทางวิธีสั้นที่สุดทุกคู่ (All-Pair Shortest Path) โดยผลลัพธ์ของโปรแกรมที่ได้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับคลังสินค้าหลายรูปแบบ และเมื่อทดสอบจำนวนโหนดที่มีผลต่อระยะเวลา ทำให้ทราบว่าที่จำนวนโหนด 20 50 100 150 200 และ 250 โหนด ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 0.03 0.07 0.33 1.04 1.54 และ 3.52 นาที ตามลำดับ

In general, many warehouses do not have distance information from every position to every position in the warehouse. This research, therefore, has the idea of finding the distance from every position to every position within the warehouse by drawing the warehouse image on Microsoft Excel. After that, the program will change the corridor inside the warehouse into a node by using the Network Model and the Manhattan Equation to find the distance between the only adjacent nodes. When the distance has been obtained between nodes then use the Floyd-Warshall algorithm to All-Pair Shortest Path. The results of the program can be applied to a variety of warehouses. After, testing the number of nodes that affect the duration that at the number of nodes 20, 50, 100, 150 200 and 250, the program takes 0.03 0.07 0.33 1.04 1.54 and 3.52 minutes respectively.

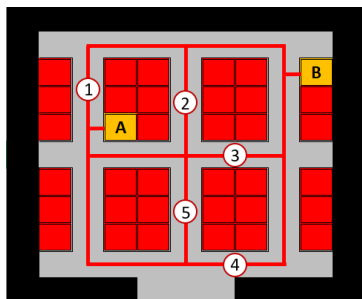
คำสำคัญ (Key word): Warehouse Distance; Microsoft Excel; All-Pair Shortest Path; Order Picking; Network Flow

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันมีการวิจัยและให้ความสำคัญด้านการจัดการคลังสินค้าเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลือกหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Order Picking) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งกิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายและต้นทุนสูงมาก เมื่อเทียบกับกิจกรรมอื่น ๆ ภายในคลังสินค้า [1, 2] แสดงดังภาพที่ 1 เนื่องจากการเลือกหยิบสินค้าภายในคลังสามารถเดินได้หลายเส้นทาง แสดงดังภาพที่ 2 และงานวิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นในการหาเส้นทางหยิบสินค้า (Routing) แต่ก่อนที่จะหาเส้นทางได้ต้องมีข้อมูลแผนภูมิจากไป (From to Chart) ของระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้า



ภาพที่ 1 แสดงเปอร์เซ็นต์ต้นทุนของกิจกรรมส่วนใหญ่ภายในคลังสินค้า [2]

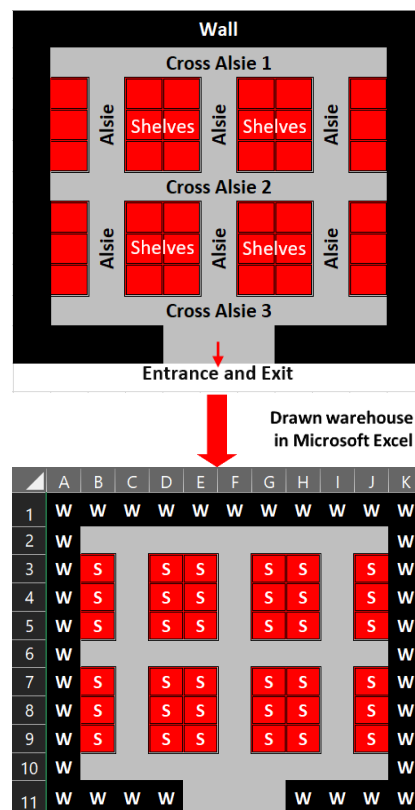


ภาพที่ 2 แสดงเส้นทางการเดินภายในคลังสินค้าจาก A ไป B

จากข้อมูล และการร่วมงานในอุตสาหกรรมของสถานศึกษาพบว่า คลังสินค้าหลาย ๆ แห่งไม่มีข้อมูลของระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้า แต่การที่จะเก็บข้อมูลของระยะทางจะใช้วิธีการประมาณค่าหรือให้นักศึกษาฝึกงานทำการวัดระยะทาง ซึ่งในกรณีที่คลังสินค้ามีขนาดใหญ่การวัดระยะทางจึงเป็นเรื่องยาก และสูญเสียเวลาในการดำเนินงาน หรือใช้วิธีการวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidean Distance) ซึ่งไม่ใช่ระยะทางจริง และไม่เหมาะสำหรับใช้ในการหาเส้นทางการเดิน

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการจัดทำโปรแกรมในการคำนวณหาระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่ง

ภายในคลังสินค้า และเพื่อให้ง่ายต่อการทำงานของโปรแกรม ผู้วิจัยได้นำแนวคิดในการร่างรูปแบบคลังสินค้าลงบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ภาพที่ 3 เพื่อคำนวณหาระยะทางในแนวแกน x และแกน y เนื่องด้วยแนวคิดในการร่างภาพคลังสินค้าลงบนโปรแกรม Microsoft Excel จะต้องกำหนดรูปแบบการร่างภาพ โดยกำหนดให้ w แทนกำแพงหรือขอบเขตของคลังสินค้า S แทนชั้นวางสินค้า และช่องว่างแทนช่องทางเดิน ตัวโปรแกรมจะเปลี่ยนช่องทางเดินให้เป็นโหนดและเชื่อมโหนดเข้าด้วยกันในแนวตั้ง และแนวนอน โดยการประยุกต์ใช้รูปแบบโครงข่าย (Network Model) และคำนวณหาระยะทางด้วยสมการของแมนแฮตตัน (Manhattan Equation) สุดท้ายโปรแกรมจะคำนวณหาระยะทางจากทุก ๆ ตำแหน่ง และแสดงผลออกมาในรูปแบบของ From to Chart



ภาพที่ 3 แสดงรูปแบบแนวคิดในการวาดรูปคลังสินค้าลงบนโปรแกรม Microsoft Excel

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

2.1 ทฤษฎีและวิธีการที่ใช้ในงานวิจัย

การร่างรูปแบบคลังสินค้าลงบนโปรแกรม Microsoft Excel จะทำการเปลี่ยนช่องทางเดินให้เป็นโหนด โดยใช้รูปแบบโครงข่าย (Network Model) และคำนวณหาระยะทางระหว่างโหนดที่อยู่ติดกันเท่านั้นด้วยสมการของ Manhattan

เนื่องจากสมการของ Manhattan สามารถหาระยะทางในแนวแกนตั้ง และแนวแกนนอน ที่เหมาะกับการหาระยะทางของรูปแบบจำลองคลังสินค้าในโปรแกรม Microsoft Excel ที่มีรูปแบบเป็นแถว (Row) และคอลัมน์ (Column) และเพื่อให้ได้ระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้าจะนำขั้นตอนวิธีของฟลอยด์-วอร์แชล (The Floyd-Warshall Algorithm) ประยุกต์ใช้ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน รวมไปถึงผลลัพธ์ที่ได้ค่อนข้างจะแม่นยำและน่าเชื่อถือ [3]

2.1.1 ตัวแบบโครงข่าย (Network Model) เป็นการใช้ปัญหาโดยใช้กราฟ ซึ่งจะแทนองค์ประกอบต่าง ๆ ของปัญหา ด้วยการวาดกราฟ ส่วนประกอบของตัวแบบโครงข่ายประกอบด้วย 1) โหนด (Node) หรือ จุดยอด (Vertex) แทนตำแหน่งต่าง ๆ ของปัญหาภายในกราฟ 2) เส้นเชื่อมระหว่างโหนด (Arc) เป็นเส้นเชื่อมที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโหนด ที่ระบุเส้นทางหรือทิศทางการเดิน และ 3) น้ำหนัก (Weight) ใช้แสดงค่าของน้ำหนักที่ใช้ในการตัดสินใจ หรือระยะทางของปัญหา [4, 5]

2.1.2 รูปแบบการเดินแบบแมนแฮตตัน หรือ ระยะทางแบบแมนแฮตตัน (Manhattan Distance) เป็นการหาระยะทางระหว่างตำแหน่งสองตำแหน่ง ในแนวแกนที่ตั้งฉากกัน [6] ยกตัวอย่าง เช่น การหาระยะทางระหว่างตำแหน่ง A (X_1, Y_1) และตำแหน่ง B (Y_1, Y_2) สามารถหาระยะทางจาก A ไป B (D_{AB}) ได้ดังสมการที่ 1

$$D_{AB} = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2| \quad (1)$$

2.1.3 เมื่อได้ระยะทางระหว่างตำแหน่งทุก ๆ ตำแหน่ง ภายในคลังสินค้าแล้ว จะแก้ปัญหาวิธีสั้นสุดแบบทุกคู่ (All-Pair Shortest Path Problem) ด้วยขั้นตอนวิธีของฟลอยด์-วอร์แชล (The Floyd-Warshall Algorithm) โดยข้อดีของขั้นตอนวิธีนี้ คือ การประมวลผลที่ค่อนข้างเร็ว [7, 8] และสามารถหาวิธีสั้นสุดแบบทุกคู่ในกรณีที่น้ำหนักหรือเส้นเชื่อมระหว่างโหนดติดลบได้ (Negative edge weighted) แต่จะไม่สามารถแก้ปัญหได้ในกรณีที่มียวัฏจักรเชิงลบ (Negative Cycle) ภายในกราฟ [9, 10] โดยภาพที่ 4 จะแสดงขั้นตอนวิธีของ Floyd-Warshall

begin

for all node pair(s, v) $\in N \times N$ do

$d(s, v) = \infty$ and $pred(s, v) = 0$

for all node i $\in N$ do $d(s, i) = 0$

for each arc (s, v) $\in N$ do $d(s, v) = c_{sv}$ and $pred(s, v) = i$

for each k = 1 to n do

for each(s, v) $\in N \times N$ do

if $d(s, v) > d(s, k) + d(k, v)$ then

begin

$d(s, v) = d(s, k) + d(k, v)$

$pred(s, v) = pred(k, v)$

end

end

ภาพที่ 4 ขั้นตอนวิธีของ Floyd-Warshall [11]

2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย

2.2.1 ขั้นตอนการเปลี่ยนภาพคลังสินค้าที่วาดลงบนโปรแกรม Microsoft Excel ให้เป็นรูปแบบโครงข่าย โดยตัวโปรแกรมจะพิจารณาช่องทางเดิน หรือช่องว่างภายในขอบเขตของคลังสินค้า (W) ดังภาพที่ 5 (a) เปลี่ยนให้เป็นโหนด ดังภาพที่ 5 (b)

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	W	W	W	W	W	W	W	W
2	W							
3	W	S		S	S		S	W
4	W	S		S	S		S	W
5	W	S		S	S		S	W
6	W							W
7	W		W	W	W	W	W	W

(a)

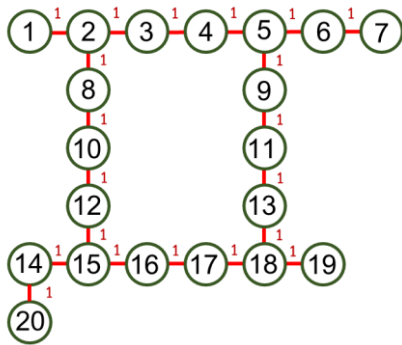
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		1	2	3	4	5	6	7
3			8			9		
4			10			11		
5			12			13		
6		14	15	16	17	18	19	
7		20						

(b)

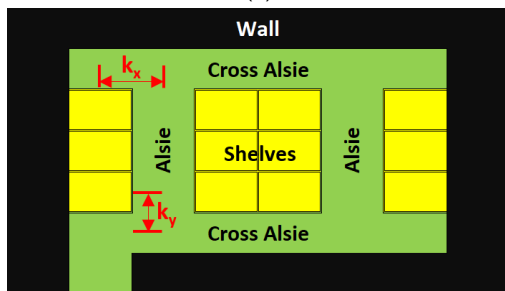
ภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนรูปแบบคลังสินค้าที่วาดลงบนโปรแกรม Microsoft Excel ให้เป็น Node

2.2.2 โปรแกรมจะสร้างเส้นเชื่อมต่อตำแหน่ง (โหนด) ที่ติดกันเข้าด้วยกัน และกำหนดระยะทางในแนวตั้ง และแนวนอนกับโหนดที่อยู่ติดกันเท่านั้น ดังภาพที่ 6 (a) หลังจากนั้นจะใช้สมการของแมนแฮตตัน สมการที่ (1) ซึ่งจะมีระยะห่างระหว่างโหนดที่อยู่ติดกันเท่ากับ 1 หน่วย แต่เพื่อให้ได้ระยะทางจริงภายในคลังสินค้าจะทำการวัดระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง ภายในคลังสินค้าในแนวแกน x (k_x) และแนวแกน y (k_y) [12] ภาพที่ 6 (b) เมื่อได้ตัวแปร k_x และ k_y โปรแกรมจะคูณเข้ากับระยะห่าง

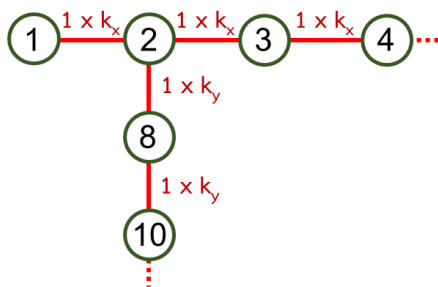
ระหว่างโหนดในแนวแกน x และแกน y ตามลำดับ ดังภาพที่ 6 (c)



(a)



(b)



(c)

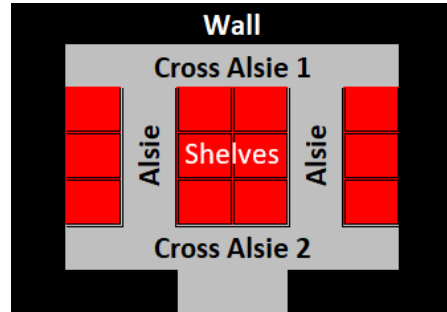
ภาพที่ 6 แสดง (a) เส้นเชื่อมและระยะห่างระหว่างโหนด
(b) รูปแบบการวัดค่า k_x และ k_y (c) แสดงน้ำหนักของเส้น
เชื่อมระหว่างโหนด กรณีคูณกับ k_x และ k_y

2.2.3 คำนวณหา All-Pair Shortest Path โดยใช้ขั้นตอนวิธีของ Floyd-Warshall เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้า และแสดงผลที่ได้ออกมาในรูปแบบของตาราง From to Chart ดังภาพที่ 14

2.3 ทำการทดสอบโปรแกรม โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ทดสอบโปรแกรมด้วยรูปแบบคลังสินค้า และจำนวนโหนดในคลังสินค้าที่แตกต่างกัน

3. ผลการวิจัย (Results)

ในการแสดงผลการวิจัย จะทำการทดสอบโปรแกรมด้วยตัวอย่างคลังสินค้าที่มีรูปแบบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีจำนวนโหนดเท่ากับ 20 โหนด ดังภาพที่ 7 และมีขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมดังต่อไปนี้



ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบคลังสินค้าที่ใช้ในการทดสอบ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดตัวแปร k_x และ k_y เท่ากับ 1.5 และ 2 ตามลำดับ กรอกค่าของ k_x และ k_y ลงบนแบบฟอร์มของโปรแกรม Microsoft Excel ดังภาพที่ 8

	A	B	C	D	E	F	G
1	Variable	Values	Unit	Comment			
2	k_x	1.5	m	ระยะห่างระหว่างโหนดในแนวแกน x			
3	k_y	2	m	ระยะห่างระหว่างโหนดในแนวแกน y			
4	Number of Node	20	Node	จำนวนโหนดทางเดิน			
5							
6	Build		Run		Clear		

ภาพที่ 8 แสดงรูปแบบแบบฟอร์มที่ใช้ในการกรอก
ข้อมูล k_x และ k_y

ขั้นตอนที่ 2 ทำการร่างรูปแบบสินค้าจากภาพที่ 7 ลงบนโปรแกรม Microsoft Excel จะได้ดังภาพที่ 9

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	W	W	W	W	W	W	W	W
2	W							W
3	W	S		S	S		S	W
4	W	S		S	S		S	W
5	W	S		S	S		S	W
6	W							W
7	W	W	W				W	W

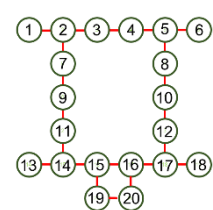
ภาพที่ 9 แสดงรูปแบบคลังสินค้าที่ร่างลงบนโปรแกรม
Microsoft Excel

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคลิกปุ่ม Run เพื่อเริ่มการทำงานของ

โปรแกรม จะได้ผลลัพธ์ที่ได้ดังภาพที่ 12 ซึ่งแสดงรูปแบบของโหนดที่ได้จากการเปลี่ยนช่องทางเดินจากภาพที่ 9 โดยตัวโปรแกรมจะกำหนดตัวเลข เพื่อใช้ในการพิจารณาตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งเป้าหมายในการหาระยะทาง เมื่อคำนวณหาระยะทางเสร็จจะได้รูปแบบตารางดังภาพที่ 13 หลังจากนั้นตัวโปรแกรมจะนำตารางที่ได้มาคำนวณหาวิธีสั้นสุดทุกคู่โหนด และแสดงผลที่ได้ในรูปแบบของตาราง From to Chart ดังภาพที่ 14

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		1	2	3	4	5	6		
3			7				8		
4			9				10		
5			11				12		
6		13	14	15	16	17	18		
7				19	20				
8									

(a)



(b)

ภาพที่ 12 (a) แสดงโหนดในโปรแกรม Microsoft Excel
(b) แสดงโหนดในรูปแบบโครงข่าย

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	1	0	1.5																		
3	2	1.5	0	1.5				2													
4	3		1.5	0	1.5																
5	4			1.5	0	1.5															
6	5				1.5	0	1.5		2												
7	6					1.5	0														
8	7		2					0		2											
9	8					2			0		2										
10	9							2		0		2									
11	10								2		0		2								
12	11									2		0			2						
13	12										2		0					2			
14	13													0	1.5						
15	14										2			1.5	0	1.5					
16	15														1.5	0	1.5			2	
17	16														1.5	0	1.5				2
18	17											2				1.5	0	1.5			
19	18																1.5	0			
20	19															2				0	1.5
21	20																	2		1.5	0

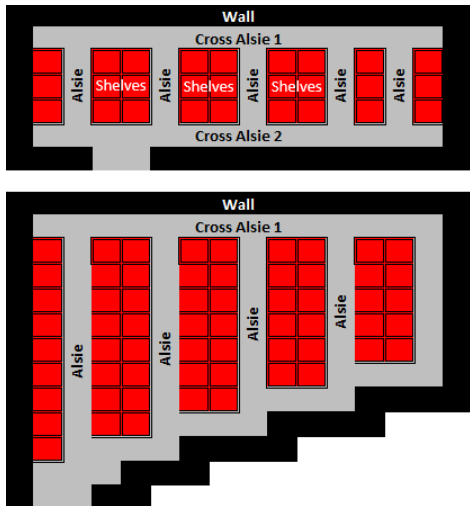
ภาพที่ 13 แสดงตารางระยะห่างระหว่างโหนด

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	1	0	1.5	3	4.5	6	7.5	3.5	8	5.5	10	7.5	12	11	9.5	11	12.5	14	15.5	13	14.5
3	2	1.5	0	1.5	3	4.5	6	2	6.5	4	8.5	6	10.5	9.5	8	9.5	11	12.5	14	11.5	13
4	3	3	1.5	0	1.5	3	4.5	3.5	5	5.5	7	7.5	9	11	9.5	11	12.5	11	12.5	13	14.5
5	4	4.5	3	1.5	0	1.5	3	5	3.5	7	5.5	9	7.5	12.5	11	12.5	11	9.5	11	14.5	13
6	5	6	4.5	3	1.5	0	1.5	6.5	2	8.5	4	10.5	6	14	12.5	11	9.5	8	9.5	13	11.5
7	6	7.5	6	4.5	3	1.5	0	8	3.5	10	5.5	12	7.5	15.5	14	12.5	11	9.5	11	14.5	13
8	7	3.5	2	3.5	5	6.5	8	0	8.5	2	10.5	4	12.5	7.5	6	7.5	9	10.5	12	9.5	11
9	8	8	6.5	5	3.5	2	3.5	8.5	0	10.5	2	12.5	4	12	10.5	9	7.5	6	7.5	11	9.5
10	9	5.5	4	5.5	7	8.5	10	2	10.5	0	12.5	2	10.5	5.5	4	5.5	7	8.5	10	7.5	9
11	10	10	8.5	7	5.5	4	5.5	10.5	2	12.5	0	10.5	2	10	8.5	7	5.5	4	5.5	9	7.5
12	11	7.5	6	7.5	9	10.5	12	4	12.5	2	10.5	0	8.5	3.5	2	3.5	5	6.5	8	5.5	7
13	12	12	10.5	9	7.5	6	7.5	12.5	4	10.5	2	8.5	0	8	6.5	5	3.5	2	3.5	7	5.5
14	13	11	9.5	11	12.5	14	15.5	7.5	12	5.5	10	3.5	8	0	1.5	3	4.5	6	7.5	5	6.5
15	14	9.5	8	9.5	11	12.5	14	6	10.5	4	8.5	2	6.5	1.5	0	1.5	3	4.5	6	3.5	5
16	15	11	9.5	11	12.5	11	12.5	7.5	9	5.5	7	3.5	5	3	1.5	0	1.5	3	4.5	2	3.5
17	16	12.5	11	12.5	11	9.5	11	9	7.5	7	5.5	5	3.5	4.5	3	1.5	0	1.5	3	3.5	2
18	17	14	12.5	11	9.5	8	9.5	10.5	6	8.5	4	6.5	2	6	4.5	3	1.5	0	1.5	5	3.5
19	18	15.5	14	12.5	11	9.5	11	12	7.5	10	5.5	8	3.5	7.5	6	4.5	3	1.5	0	6.5	5
20	19	13	11.5	13	14.5	13	14.5	9.5	11	7.5	9	5.5	7	5	3.5	2	3.5	5	6.5	0	1.5
21	20	14.5	13	14.5	13	11.5	13	11	9.5	9	7.5	7	5.5	6.5	5	3.5	2	3.5	5	1.5	0

ภาพที่ 14 แสดงตารางระยะทางที่สั้นที่สุด

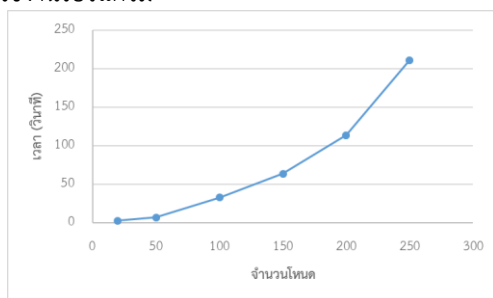
4. อภิปรายผล (Discussion)

4.1 ผลลัพธ์ที่ได้ ตัวโปรแกรมนี้มีประสิทธิภาพในการคำนวณหาระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้า และสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบคลังสินค้าได้หลากหลาย ยกตัวอย่างคลังสินค้าที่ทำการทดสอบ ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แสดงตัวอย่างรูปแบบคลังสินค้าที่สามารถใช้ในการคำนวณหาระยะทาง

4.2 ทดสอบจำนวนโหนดที่ส่งผลต่อระยะเวลาการทำงานของโปรแกรม ทางผู้วิจัยใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กของ Lenovo รุ่น ideapad Z510 ซึ่งมีระบบประมวลผล Intel Core i7-4702MQ (2.20 GHz, 6 MB L3 Cache, up to 3.20 GHz) ทำให้ทราบว่าที่จำนวนโหนด 20 50 100 150 200 และ 250 โหนด ใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรม 0.03 0.07 0.33 1.04 1.54 และ 3.52 นาที จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนโหนดในการคำนวณหาระยะทางจะมีระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 16 อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณนั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ในการใช้งานโปรแกรม



ภาพที่ 16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับจำนวนโหนด

5. สรุปผล (Conclusion)

งานวิจัยนี้สามารถคำนวณหาระยะทางจากทุกตำแหน่งไปยังทุกตำแหน่งภายในคลังสินค้าได้ จากการร่างรูปแบบคลังสินค้าลงบนโปรแกรม Microsoft Excel โดยโปรแกรมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาระยะทางเดินภายในคลังสินค้า และช่วยลดเวลาในการวัดระยะทางเดินจากการใช้มนุษย์ในการวัด รวมไปถึงผลลัพธ์ที่ได้มีค่าของระยะทางจริง นอกจากนี้ยังนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมไปใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสม หรือใช้พัฒนาเทคโนโลยีของคลังสินค้า อาทิ การเลือกหยิบสินค้าภายในคลังของหุ่นยนต์ เพื่อก่อให้เกิดประโยชน์ในด้านการจัดการภายในอุตสาหกรรม และคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ต้องขอขอบคุณนางสาวจิราพร สุกุลวราภักดิ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และแสดงความคิดเห็น และขอขอบคุณทางมหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการทำงานวิจัยฉบับนี้

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 เอกสารอ้างอิงภาษาไทย

- [4] ผศ.ดร. ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร, การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Analysis, กรุงเทพฯ: บริษัท วี. พรินท์ (1991) จำกัด, 2561
- [5] ศ.ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์, Analysis & Design of Algorithms, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ ดี แอล เอส กรุงเทพฯ, 2543
- [7] สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล, การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม, กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

7.2 เอกสารอ้างอิงภาษาอังกฤษ

- [1] Beroule, B., et al. "Order Picking Problem in a Warehouse Hospital Pharmacy." IFAC-PapersOnLine 50.1, 2017
- [2] Richards, Gwynne. Warehouse management: a complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse. Kogan Page Publishers, 2017
- [3] Ramadhan, Z., A.P.U. Siahaan, and M. Mesran.

Prim and Floyd-Warshall Comparative Algorithms in Shortest Path Problem. in Proceedings of the Joint Workshop KO2PI and the 1st International Conference on Advance & Scientific Innovation. 2018.

- [6] Pandit Shraddha, and Suchita Gupta. "A comparative study on distance measuring approaches for clustering." International Journal of Research in Computer Science 2.1, 2011
- [8] Singh, A. and P.K. Mishra, Performance Analysis of Floyd Warshall Algorithm vs Rectangular Algorithm. International Journal of Computer Applications, 2014. 107(16).
- [9] Skiena, Steven S. The algorithm design manual: Text. Vol. 1, 1998.
- [10] Heineman, G.T., G. Pollice, and S. Selkow, Algorithms in a nutshell: A practical guide. 2016
- [11] Ahuja, Ravindra K., et al. "Network flows: theory, algorithms and applications." ZOR- Methods and Models of Operations Research 41.3, 1995
- [12] De Santis, Roberta, et al. "An adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses." European Journal of Operational Research 267.1, 2018

การปรับปรุงกระบวนการไวร์บอนดิงของการผลิตวงจรรวม กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิต วงจรรวมประเทศไทย

Improvement of wire bonding process for integrated circuit production: A case
study of integrated circuit industry in Thailand

อภิรัตน์ มีมูซอ¹, ปริญญ์ บุญกนิษฐ²

¹ Failure Analysis and Assembly Sections of Microchip Technology (Thailand) Co., Ltd.

apirat.meemoosor@microchip.com

² สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

prin.b@mutp.ac.th

บทคัดย่อ

การใช้ลวดทองแดง (Copper) แทนลวดทอง (Gold) สามารถลดต้นทุนในการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit, IC) ของอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์ได้เป็นจำนวนมาก แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีความเสี่ยงของวงจร (Circuit Reliability) ที่น้อยกว่าการใช้ลวดทอง ด้วยเหตุนี้การศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตวงจรรวมในส่วนของการกระบวนการไวร์บอนดิง (wire bonding) ด้วยการเพิ่มกระบวนการอบอ่อน (Annealing) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญที่จะช่วยให้การเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างลวดกับแผ่นวงจรรวมมีคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากการ Annealing จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะในการเชื่อมต่อวงจรได้ดีขึ้น ทำให้มีความแข็งแรงของรอยต่อระหว่างความหนาของชั้นสารประกอบเชิงโลหะ IMC (Intermetallic layer) สูงขึ้น ส่งผลให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีขึ้น สำหรับการศึกษาทดลองครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาออกแบบ กระบวนการ Annealing โดยเปรียบเทียบค่า IMC ที่ระดับอุณหภูมิ 175°C และระดับอุณหภูมิที่ 200°C แล้วจึงทำการวัดทดสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยเครื่อง (Scanning Electron Microscope, SEM) ทุก 30 นาที ซึ่งผลการทดลองพบว่าระดับอุณหภูมิที่ส่งผลให้คุณภาพของชิ้นงานมีความเสถียรของค่า IMC คือ ที่ระดับอุณหภูมิ 175°C ใช้เวลา 9 ชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิใหม่ 200°C จะใช้ระยะเวลาเพียง 3 ชั่วโมง โดยค่าที่ได้พบว่ามีค่า IMC สูงมากกว่าค่าเฉลี่ยของค่าระดับที่ยอมรับจากงานวิจัยอื่นๆที่ระดับ 60% และได้ค่ามากกว่าระดับที่ยอมรับของภาคอุตสาหกรรมที่ 80% ส่งผลให้ลดเวลาและต้นทุนในการผลิตชิ้นงาน IC และชิ้นงานมีคุณภาพสูงขึ้นอีกด้วย

คำสำคัญ: ลวดทองแดง; วงจรรวม; IMC; ไวร์บอนดิง

Abstract

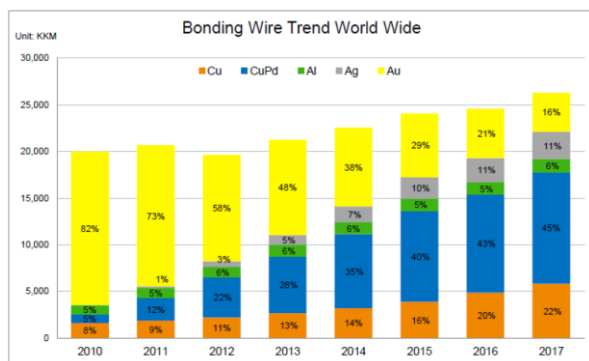
Using copper wire instead of gold wire can reduce a lot of cost in IC production of semiconductor industrial. However, the circuit stability (Circuit Reliability) is less than the use of gold wire. Therefore, the study to improve the production of integrated circuits in the part of the wire bonding process by increasing the annealing process. It is an important process to improve the quality of the integrated circuit between Cu wire and chip. For this experimental study of annealing process, it was performed by comparing IMC values at 175°C and 200°C. The quality of workpiece was tested and measured by Scanning Electron Microscope (SEM) machine every 30 minutes. The research experiment found that the temperature with effect to the workpiece quality to stabilize the IMC value was 175°C for 9 hours nevertheless the new temperature at 200°C, it has been applied with only 3 hours. Finally, the IMC testing result is higher than the average of the at 60% standard acceptable level as other research reviews and it also higher than the acceptable level of the industry level at 80%. Hence, this result can reduce time, cost of IC and workpieces production and it also including the higher quality of the products.

Keywords: Copper wire; Integrated circuit; IMC; Wire bonding

1. บทนำ (Introduction)

วงจรรวม (Integrated circuit ; IC) คือ วงจรที่นำเอา ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และ องค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจร ขนาดเล็ก อาจเรียก ชิป (Chip) ภายในไอซี ซึ่งใช้ทำงาน ควบคุม คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมืออุตสาหกรรม อุปกรณ์การแพทย์ อุปกรณ์ทางทหาร รถยนต์ ระบบเบรกรถยนต์ ซึ่งที่ในอดีตนั้นในการผลิต IC จะ ใช้ลวดทองเป็นวัสดุหลักในการผลิตในการเชื่อมต่อวงจรจาก ชิปไปสู่ขาของลิตเฟรม

ในปัจจุบันในผู้ผลิต IC ต่างได้มีการศึกษาและลดการใช้ ทองคำโดยมีสัดส่วนที่ลดลงอย่างมาก เพื่อให้ผู้ประกอบการ ในอุตสาหกรรมนี้ได้มีการลดต้นทุนจากลวดทอง (Au) โดย เปลี่ยนมาใช้ลวดทองแดง (Cu) เพื่อลดต้นทุนในการผลิต IC ดังภาพประกอบที่ 1 อ้างอิงจากงานวิจัย [1] ซึ่งมีอัตราการ ผลิตต่อวันนับเป็นล้านตัว เพื่อเป็นการลดต้นทุน และเพิ่มผล กำไรให้กับองค์กรนั่นเอง



ภาพที่ 1 แนวโน้มการเติบโตของตลาดลวดทองแดงและลวด ทองคำโดย [1]

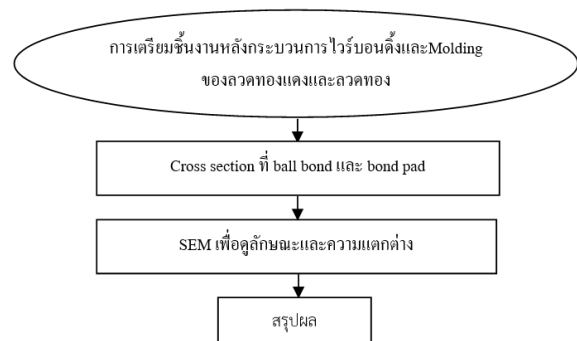
แต่ในทางการผลิตจริงกลับพบว่าทองแดงนั้นเป็นวัสดุที่ ผสานกับวัสดุอื่นได้ไม่ดีเท่ากับการใช้ลวดทอง [7] ดังนั้น ลวดทองแดงที่นำมาต่อกับชิปและลิตเฟรมเรียบร้อยแล้วนั้น จะมีปัญหาในเรื่องของ Reliability โดยลวดจะมีโอกาสหลุด ออกจากวงจรชิปได้มากกว่าลวดทองเมื่อถูกกระตุ้นด้วย แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิร้อน อุณหภูมิเย็น ความชื้นและชั้น IMC ที่ไม่มีความแข็งแรงมากพอ [2] [3] [8]

จากการศึกษาพบว่าชั้น IMC ทำหน้าที่ยึดเกาะระหว่าง ชั้นของลวดทองแดง (Cu) กับ Aluminum pad ซึ่งถ้ามีพื้นที่ IMC มากโอกาสที่จะเกิดการหลุดของลวดก็น้อยลงเช่นกัน โดยแรงที่ใช้ไหลลวดให้หลุดจาก Aluminum pad แปรผัน ตามกับระดับ IMC [5] ขั้นตอนที่จะช่วยให้ผลิตได้มีชั้น IMC ที่เพิ่มขึ้นได้คือการ Annealing ที่อุณหภูมิความร้อน 175°C [6] ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษา

ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระดับคุณภาพ IMC ที่ระดับอุณหภูมิ 175°C และ อุณหภูมิ 200°C โดยทำการวัดทดสอบทุก 30 นาที ว่าผลที่ได้ทำให้ค่าระดับ IMC อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ มากกว่า 60% ซึ่งระดับค่า IMC ที่ 60% เป็นค่าที่ผ่านการ ทดสอบความคงทนของตัวงาน (Reliability test) ทั้งหมด [9] ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมต้องการที่ 80% โดยกระบวนการในการศึกษาวิจัยมีขั้นตอนในการ ดำเนินงานดังต่อไปนี้

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

สำหรับกระบวนการในการศึกษาวิจัยเริ่มจากการเตรียม ชิ้นงานหลังกระบวนการไวร์บอนดิงและ Molding ของทั้ง ลวดทองแดงและลวดทองเพื่อทำการศึกษาลักษณะทาง กายภาพของการบอนดิงที่ทั้งผลิตเสร็จมาทำการ Cross section เพื่อดูความแตกต่างระหว่างลวดทองแดงและลวด ทองว่าวัสดุใดสามารถทำการไวร์บอนดิงได้ดีกว่า ดังแสดง ขั้นตอนในภาพประกอบที่ 2



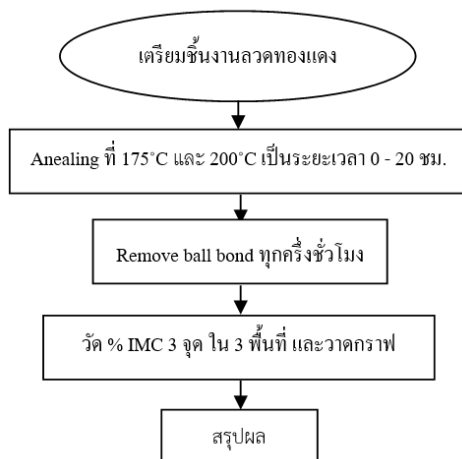
ภาพที่ 2 กระบวนการศึกษาความแตกต่างของลวดทองและ ลวดทองแดง

ขั้นตอนต่อไปคือการเตรียมชิ้นงานที่เป็นลวดทองแดงไป Annealing ที่อุณหภูมิ 175°C ที่ได้ศึกษาจากงานวิจัย [4] พบว่าจะช่วยให้ ชั้น IMC ของลวดทองแดงมีเพิ่มขึ้น ในครั้งนี้ จะศึกษาเพิ่มเติมที่อุณหภูมิ 200°C เพื่อทำการเปรียบเทียบ ความแตกต่างของระดับIMC ที่ระยะเวลา 0 ชั่วโมง จนถึง 20 ชั่วโมง โดยจะทำการวัดระดับ IMC ที่ทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง โดยใช้เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) ดัง ภาพประกอบที่ 3



ภาพที่ 3 การวัดพื้นที่ IMC โดยเครื่อง SEM

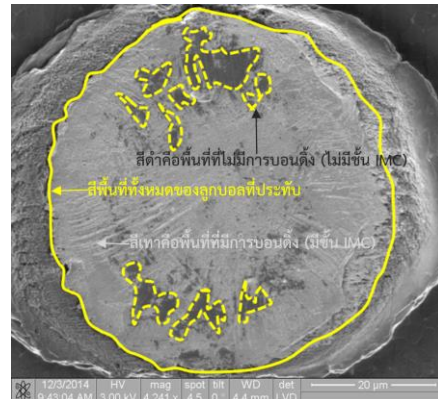
ในแต่ละครั้งจะทำการวัด 3 จุดใน 3 พื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวาดกราฟและทำการศึกษาค่าอุณหภูมิได้ส่งผลให้ระดับ IMC มีค่าเสถียรและมากกว่า 60% และใช้เวลาเท่าไรแสดงขั้นตอนในภาพประกอบที่ 4



ภาพที่ 4 กระบวนการวิเคราะห์หาระดับ IMC ที่อุณหภูมิ 175°C และ 200°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

การวัดระดับ IMC ที่อุณหภูมิ 175°C และ 200°C ที่ระยะเวลาต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง SEM ในการคำนวณพื้นที่สี่เหลี่ยมคือพื้นที่ที่มีการบอนด์ขึ้น ในขณะที่สี่เหลี่ยมคือพื้นที่ที่ไม่มีการบอนด์ขึ้นดังภาพประกอบที่ 5 และนำเข้าสู่สูตรตามสมการที่ (1) เพื่อหา %IMC ในแต่ละจุดที่ทำการทดลอง

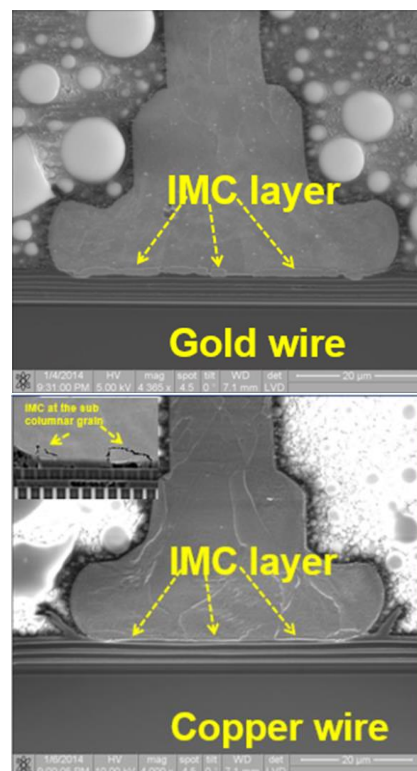
$$\%IMC = \frac{(\text{พื้นที่ผิวของอนุภาคน้ำเงิน} - \text{พื้นที่ผิวการบอนด์}) \times 100}{\text{พื้นที่ผิวของอนุภาคน้ำเงิน}} \quad (1)$$



ภาพที่ 5 การวัดพื้นที่ที่มีการบอนด์ พื้นที่ที่ไม่มีการบอนด์ และพื้นที่ทั้งหมดของลูกบอลที่ประทับ

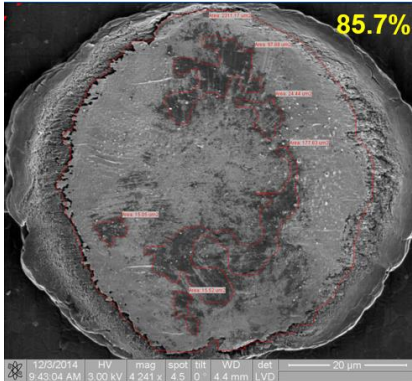
3. ผลการวิจัย (Results)

ผลของการ cross section ที่ 0 ชั่วโมง และตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM พบว่า โครงสร้างของลวดทองมีความแตกต่างกับลวดทองแดง โดย Aluminum pad จะหลอมรวมกับลวดทองขึ้นในแนวตั้งโดยที่ไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดอ่อนและแสดงชั้น IMC อย่างชัดเจน ในขณะที่ลวดทองแดงพยายามจะหลอมรวมลงกับ Aluminum pad และแสดงชั้น IMC อย่างไม่ชัดเจนและบางกว่าเมื่อเทียบกับลวดทองแดงภาพประกอบที่ 6



ภาพที่ 6 ความแตกต่างของโครงสร้างและการหลอมรวมกับ Aluminum pad ของลวดทองและลวดทองแดงโดยการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM

แสดงการคำนวณที่จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอุณหภูมิ 175°C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง พื้นที่ทั้งหมดของลูกบอลที่ประทับ คือ 2311.17 μm^2 ในขณะที่พื้นรวมของพื้นที่ที่ไม่มีการบอนด์ คือ 339.32 μm^2 ดังแสดงในภาพที่ 7

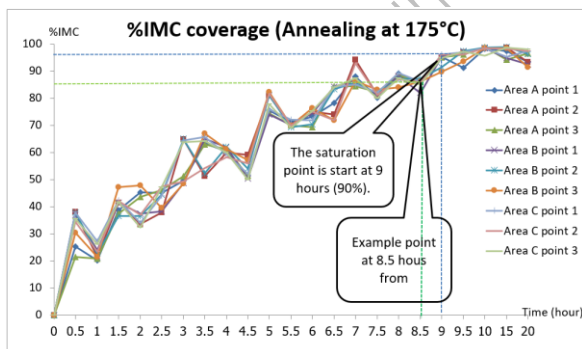


ภาพที่ 7 การวัดพื้นที่ จุดที่ 1 ในพื้นที่ 1 ของอุณหภูมิ 175°C ที่เวลา 8.5 ชั่วโมง

นำค่าที่ได้จากการวัดมาคำนวณในสมการที่ (1) เพื่อหาค่า %IMC พร้อมทั้งแสดงจุดพหุคูณกราฟในภาพที่ 8

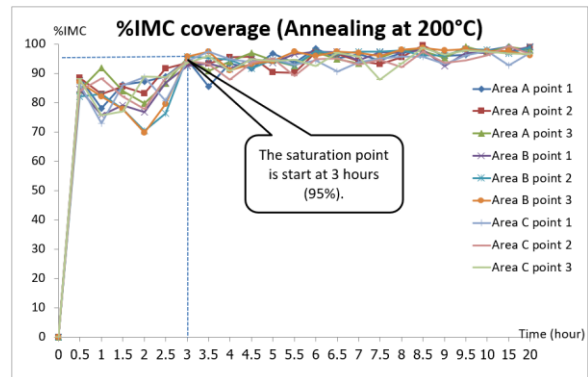
$$85.7\% = \frac{(2311.17 \mu\text{m}^2 - 339.32 \mu\text{m}^2) \times 100}{2311.17 \mu\text{m}^2} \quad (1)$$

นำ %IMC ของอุณหภูมิ 175°C ที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดมาวาดกราฟพบว่าการ Annealing ที่อุณหภูมิ 175°C จะทำให้ %IMC มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% จะเสถียรและมากกว่า 80% หลังจาก 9 ชั่วโมงดังภาพประกอบที่ 8



ภาพที่ 8 ผลการวัด %IMC ที่อุณหภูมิ 175°C จำนวน 3 จุด ใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง

วาดกราฟของอุณหภูมิ 200°C พบว่าการ Annealing ที่อุณหภูมิ 200°C จะทำให้ %IMC มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 60% จะเสถียรและมากกว่า 80% หลังจาก 3 ชั่วโมงดังภาพประกอบที่ 9



ภาพที่ 9 ผลการวัด %IMC ที่อุณหภูมิ 200°C จำนวน 3 จุด ใน 3 พื้นที่ โดยทำการวัดทุก ๆ ครึ่งชั่วโมง

4. อภิปรายผล (Discussion)

ความแตกต่างของวัสดุและองค์ประกอบระหว่างลวดทองแดงและลวดทองนิกเกิลซึ่งความแตกต่างของผลของการไวรบบอนด์ โดยลวดทองจะทำการผสมกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบกับการใช้ลวดทองแดงซึ่งคล้ายกับงานวิจัยที่ได้ศึกษา [7] ที่กล่าวว่าทองนิกเกิลรวมตัวกับ Aluminum pad ได้ดีกว่าลวดทองแดง ดังนั้นการใช้ลวดทองในการผลิตจะมีโอกาสเกิดปัญหา Reliability ได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับลวดทองแดงที่มีโอกาสเกิดการหลุดหรือยกออกจากชิปได้ง่ายกว่าเมื่อ IC ถูกทดสอบในกระบวนการต่าง ๆ ทั้งอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้า ความร้อน ความเย็น และความชื้น การ Annealing IC ที่ 175°C ช่วยให้ระดับ IMC ของ IC เพิ่มขึ้นตามเวลาของการ Annealing ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ตรงกับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเช่นกัน [4] อุณหภูมิจะส่งผลให้ระดับ IMC เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และได้ค่าที่เสถียรและมากกว่า 80% โดยต้องใช้เวลามากถึง 9 ชั่วโมง เป็นเวลาที่ช้าเกินไปไม่เหมาะสมกับการผลิตที่ต้องเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย

การ Annealing IC ที่ 200°C ช่วยให้ %IMC ของ IC เพิ่มขึ้นตามเวลาเช่นกัน และสอดคล้องกับงานวิจัย [6] ที่ได้ศึกษามาเช่นกัน อุณหภูมิจะส่งผลให้ %IMC เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเร็วกว่าอุณหภูมิ 175°C มาก ค่าที่ได้จะคงที่มากกว่า 80% ในเวลาที่เร็วที่สุดคือ 3 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เร็วและเหมาะสมกับการผลิตที่สุด เพราะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่าอุณหภูมิ 200°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการเพิ่มระดับ IMC เพราะใช้เวลาน้อยที่สุดและได้ค่า IMC ที่เสถียรและมากกว่า 80% ซึ่งเป็นค่าระดับที่องค์กรต่างๆ (Microchip, UTAC, Stars Microelectronic, NXP, ASE, Amkor Technology และอื่น ๆ) ในภาคอุตสาหกรรมยอมรับร่วมกันโดยทั่วไป

ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มกระบวนการนี้เข้าไปในกระบวนการ
ไวร์บอนดิงของลวดทองแดงแล้ว ก็จะสามารถทำให้
ลวดทองแดงมีชั้น IMC ที่เพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ชั้น IMC มี
ความแข็งแรงมากขึ้นตามงานวิจัย [5] ลวดทองแดงยึดติดกับ
Aluminum pad ได้ดี มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งาน
ที่สภาวะต่าง ๆ ลด Defect ที่เกิดจากปัญหา Reliability
ตามงานวิจัย [9] สามารถลดต้นทุนที่ต้องใช้ในการทดสอบ
งานเพิ่มสำหรับลวดการผลิตที่มีปัญหา Reliability สามารถ
สร้างความมั่นใจและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยให้กับ
ลูกค้ามากขึ้น สร้างความน่าเชื่อถือให้กับองค์กรซึ่งเป็นหนึ่ง
ในอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวมของประเทศไทยในระยะ
ยาว รวมถึงสร้างชื่อเสียงให้อุตสาหกรรมในประเทศไทยได้อีก
ด้วย

สำหรับงานวิจัยที่ควรจะศึกษาทดลองต่อไปคือการ
ทดสอบกับลวดทองแดงที่ถูกปกคลุมด้วยแพลเลเดียม หรือ
เรียกว่าลวดทองแดงแพลเลเดียม (CuPd) ซึ่งเป็น
ลวดทองแดงอีกชนิดหนึ่งที่ต้องใช้โดยทั่วไปในการผลิตวงจร
รวมเช่นกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท Microchip Technology
(Thailand) Co., Ltd. โดยเฉพาะทีมวิศวกรและพนักงานใน
ส่วนของแผนก Assembly process และ Failure analysis
section ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ ค่าปรึกษา รวมถึงการ
ดำเนินงานวิจัยให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ทุกประการ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Stuart Fan, Louie Huang, Ming-Chi Ho, Ker-Chang Hsieh, The Intermetallic Compound (IMC) Growth and Phase Identification of Different Kinds of Copper Wire and Al Pad Thickness, 1Advanced Semiconductor Engineering and 2National Sun Yat-Sen University, 2016
- [2] Tatsunori Saruwatari, Toru Takahashi, Akinori Ono, Yuichi Asano, Toshihiro Iwasaki, RELIABILITY IMPROVEMENT OF CU-WIRE BONDED LEAD FRAME PACKAGE FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS Pan Pacific Microelectronics Symposium, 2017
- [3] Mingchuan Han, Miao Wang, Lidong Zhang, Beiyue Yan, Jun Li, Meijiang Song, Varughese Mathew, Copper wire bond pad/IMC interfacial

layer crack study during HTSL (high temperature storage life) test, NXP Semiconductor, 2016

[4] Y. Y. Tana, F.K. Yong, Cu-Al IMC Microstructure Study in Cu Wire Bonding With TEM, Infineon Technologies (M), 2010

[5] Ying Sian Chen, Ming Tsung Lee, Nicolas Liu, Kevin Liu., A Study for the Effectiveness of Wire Bond Process Parameters on Al-Cu Intermetallic Compound Distributions and the Correlation between Bonded Ball Adhesions and IMC Coverage, Texas Instruments Inc, 2018

[6] Adeline B.Y. Lim, Chris B. Boothroyd, Oranna Yauwa, Bob Chylak, Chee Lip Gan, Zhong Chenb, Interfacial evolution and bond reliability in thermosonic Pd coated Cu wire bonding on aluminum metallization: Effect of palladium distribution, 2016

[7] F. W. Wulff, C. D. Breach, D. Stephan, Saraswati and K.J. Dittmer Materials & Applications Centre, Characterization of Intermetallic Growth in Copper and Gold Ball Bonds on Aluminium Metallisation, Electronics Packaging Technology Conference, 2004

[8] Chong Leong Gan, Classe Francis, Bak Lee Chan, Uda Hashim, Extended reliability of gold and copper ball bonds in microelectronic packaging, Gold bull, 2013

[9] Tracy Jia Lin Yap, Yin Kheng Au, Poh Leng Eu, Importance of Cu/Al Intermetallic Coverage in Copper Wire Bonding with Sensitive Pad Structure, Freescale Semiconductor, 2012

การศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นซับน้ำจากวัสดุทดแทนและ
สร้างระบบควบคุมความเย็นทางไกลอัตโนมัติด้วยอาร์ดูโนในโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่อารมณ์ดี
The study of the efficiency of water absorbent discs from renewable
materials and the construction of long-distance cooling system control
with Arduino automation process in good-humored laying hens

ปิยลาภ มานะกิจ¹, ชมณภัทร หัตถกรรม², เสกสิทธิ์ รัตนสิริวัฒน์กุล³ และ โกเมน หมายมัน⁴

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน ² สาขาเทคโนโลยีผลิตสัตว์ ^{3,4} สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

¹ pmttoon@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมความอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนจำลองเลี้ยงไก่ไข่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ
เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิของวัสดุทดแทน และสร้างระบบการผลิตอัตโนมัติควบคุมความเย็นด้วย
ระบบควบคุม Arduino ในโรงเรือนจำลองเลี้ยงไก่ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่ระดับไม่สูงกว่า 75% RH โดยใช้การ
ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 8266 (ESP8266)

จากการทดลองแบบเปิด-ปิดเอง (on-off) พบว่าแผ่นซับน้ำจากกระสอบป่านมีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงที่สุด
63.64 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่าเฉลี่ย 61.27% แสดงว่ากระสอบป่านสามารถใช้เป็นแผ่นซับน้ำในโรงเรือนเลี้ยง
ไก่อารมณ์ดีได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับกาบมะพร้าวและฟองน้ำ การทดลองแบบอัตโนมัติ (auto)
พบว่าระบบควบคุมความเย็นทางไกลอัตโนมัติด้วยอาร์ดูโนสามารถปิด-เปิด ปั๊มน้ำและพัดลมได้ตามอุณหภูมิและความชื้น
ที่ตั้งไว้จริง และงานวิจัยนี้สามารถสร้างระบบการผลิตอัตโนมัติที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากระยะไกลให้อยู่
ในช่วงที่กำหนดไว้ซึ่งไก่สามารถเจริญเติบโตและออกไข่ได้

คำสำคัญ (Key word): แผ่นซับน้ำ, ไก่ไข่อารมณ์ดี, อาร์ดูโน

Abstract

This research studied temperature control and relative humidity in simulation house raising chickens. The
research purpose is executing the efficiency of temperature reduction of renewable materials and create
a cooling control system with Arduino control system in simulation house raising chickens. The relative
humidity in the air level is not higher than 75% RH. The methodology was taken control with ESP 8266
microcontroller (ESP8266)

The research result from an on-off experiment was found that the sheet of water from hemp sacks had the
highest cooling efficiency 63.64 percent, relative humidity had an average of 61.27%. %. The research
conclusion is the hemp sack is the most suitable absorbent discs among sponge and spathe. An
automatic experiment found that automatic long-distance cooling with Arduino can be switched off-on the
water pump and fan according to the setting of the temperature and humidity. This research has proved

that the Arduino control system can control the temperature and relative humidity in the air during which the chickens can grow and lay eggs.

Keywords: water absorbent disc, good-humored laying hens, Arduino

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยถือว่าเป็นแหล่งอาหารของโลก อย่างที่ได้มีผู้กล่าวไว้ว่าประเทศไทยคือครัวของโลก เกษตรกรรมเป็นอาชีพหลักของคนไทยส่วนใหญ่ในประเทศไทยไม่ว่าจะเป็น การทำการเกษตรหรือการเลี้ยงสัตว์[3] ซึ่งอาชีพดังกล่าว เป็นอาชีพที่สร้างรายได้ให้แก่ประเทศไทยเป็นอย่างมากและ การเลี้ยงไก่เป็นอีกอาชีพหนึ่งที่สามารถสร้างรายได้ให้กับเกษตรกร เป็นเวลานาน จนได้มีการระบาดของเชื้อไวรัส H5N1 หรือ เชื้อไข้หวัดนก ที่สร้างความเสียหายให้กับเกษตรกร ทำให้เกิดการขาดทุนและส่งผลกระทบไปยังธุรกิจการส่งออก[18] เนื้อไก่ของไทย ทำให้เศรษฐกิจตกต่ำ ต่างชาติขาดความ เชื่อถือมีการงดการสั่งซื้อไก่จากไทย[4] จึงทำให้เกษตรกร เกิดความเดือดร้อนจนได้มีการป้องกันการแพร่กระจาย และการติดเชื้อไวรัส[19] เพื่อควบคุมไม่ให้เชื้อไวรัสเข้าสู่ตัว ไก่ มาตรการหนึ่งก็คือ การสร้างโรงเรือนระบบปิดหรือระบบ ระบาย (Evaporative Cooling System) ในปัจจุบัน ความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ ก่อให้เกิดการคิดค้นประดิษฐ์กรรมต่างๆขึ้นมา เพื่อ ตอบสนองความต้องการของมนุษย์และสร้างความ สะดวกสบายในการดำเนินชีวิตประจำวันโดยมีประสิทธิภาพ สูง ขึ้น และเป็น ผล ต่ อ สิ่ง แวด ล้อม และ โลก เครื่องปรับอากาศเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่ถูกคนสร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกของมนุษย์และเพื่อใช้ในงานหลากหลาย ประเภทรวมถึงการเกษตรในการเลี้ยงไก่ เครื่องปรับอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับอากาศให้มีอุณหภูมิและความชื้น [11] ให้เหมาะสมต่อสภาพการใช้งานนั้นเครื่องปรับอากาศที่ พบในปัจจุบันได้มีการ พัฒนาไปมากมีเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้า มามีบทบาทช่วยเหลือในการออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ สำหรับระบบปรับอากาศที่ใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไก่[7] เป็น ระบบระบาย (Evaporative Cooling System) ซึ่งเหมาะ กับสถานที่โล่งกว้าง และต้องการลดอุณหภูมิจากเดิมลง ประมาณ 3-4 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นผลดีต่อการเลี้ยงไก่ แต่อุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่ เรียกว่า แผ่นซับน้ำ (Pad) มีราคาสูง เพราะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ[6] ทำให้ต้นทุนการผลิต สูงขึ้น ส่งผลกระทบไปยังเกษตรกรรายย่อยที่มี ต้น ทุนต่ำ ใน บางครั้งอาจใช้ผ้าตาข่ายมาทดแทนแผ่นซับน้ำจากกระดาด ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลง ผลผลิตที่ได้ไม่

ดีหรือเกิดความเสียหายได้ในบางครั้ง จากความเป็นมา ข้างต้นอันประกอบไปด้วย แผ่นซับน้ำ(Pad) มีราคาสูง ผ้าตา ข่ายที่นำมาใช้แทนแผ่นซับน้ำจากกระดาด มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นการนำ วัสดุอื่นมาทำ เป็นแผ่นซับน้ำ จะช่วย แก้ปัญหา ของเกษตรกรได้เป็นอย่างดี ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ใน การนำ วัสดุธรรมชาติมาใช้แทนแผ่นซับน้ำ แบบกระดาดที่ ใช้กันอยู่ [1]

การเลี้ยงไก่แบบปล่อย Free-range system หมายถึง ระบบการจัดการเลี้ยงไก่ที่ปล่อยให้ไก่ได้ออกมาภายนอกคอก หรือโรงเรือนได้อย่างอิสระโดยเป็นพื้นที่ ที่ มีหญ้าปกคลุม ทำให้ไก่ ได้แสดงพฤติกรรมตามธรรมชาติ เช่น การคุ้ยเขี่ย การไถ่กินพืช ผัก แมลงทำให้ไก่มีความสุข อารมณ์ดี จึงเรียกว่า “Happy chick” สหภาพยุโรป มี ข้อกำหนดมาตรฐานการเลี้ยงไก่แบบปล่อยว่าต้องมีพื้นที่ ภายนอกโรงเรือนอย่างน้อย 4 ตารางเมตรต่อตัว และต้องมี พืชปกคลุมดิน ไก่จะต้องมีอิสระที่จะออกจากคอกได้ ตลอดเวลา เมื่อไก่มีความสุข นอกจากนี้อากาศที่โปร่งสบาย ได้ในราคาที่สูงกว่าไก่ปกติหลายเท่า สวัสดิภาพสัตว์ (animal welfare) หมายถึงคุณภาพชีวิตที่ดีของสัตว์บน พื้นฐานการคำนึงถึงหลัก 2 ประการคือ สภาพทางร่างกาย สรีรวิทยาของสัตว์และสภาพทางจิตใจของสัตว์การจัดสวัสดิ ภาพสัตว์ที่ดี ป้องกันไม่ให้เกิดความเครียด ทำให้สัตว์แข็งแรง มีภูมิคุ้มกันโรคโดยธรรมชาติ ซึ่งได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ กันอย่างกว้างขวางในระดับสากลทั้งเชิงปรัชญาและทาง วิทยาศาสตร์ว่ามีอะไรเป็นกรอบในการปฏิบัติ[18] ดังนั้น “โรงเรือนเลี้ยงไก่อารมณ์ดี” ในงานวิจัยนี้หมายถึงโรงเรือนที่ สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนให้ เหมาะสม ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการทำงานวิจัยนี้ เพื่อลดต้นทุนในการเลี้ยงไก่โดยการใช้วัสดุทดแทนจาก ธรรมชาติเป็นแผ่นซับน้ำในโรงเรือนเลี้ยงไก่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการลดอุณหภูมิของวัสดุ ทดแทน

2 เพื่อสร้างระบบควบคุมการทำความเย็นด้วย Arduino ในโรงเรือนจำลองเลี้ยงไก่อารมณ์ดี

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

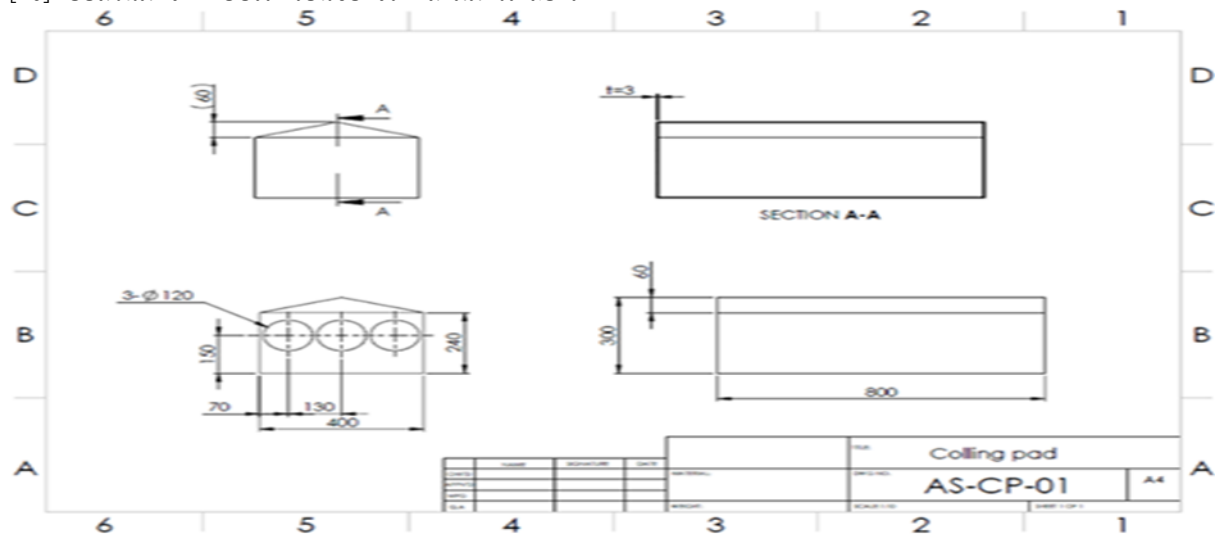
การศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพวัสดุทดแทนสำหรับระบบทำความเย็นโรงเรือนเลี้ยงไก่ไข่อารมณ์ดี[17] เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ให้งานวิจัยมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งแบ่งวิธีการในการดำเนินงานวิจัยไว้ดังนี้

1). ออกแบบโรงเรือนเลี้ยงไก่อารมณ์ดีจำลอง

1.1) ขนาดโรงเรือน กว้าง 40 ซม. ยาว 80 ซม. สูง 30 ซม.
[20] ย่อส่วนมาจากแบบโรงเรือนของจริง สามารถเลี้ยงไก่

ได้ 100 ตัว โดยจะติดตั้งพัดลมไว้หลังของโรงเรือนจำลองและติดตั้งวัสดุทดแทนสำหรับระบบทำความเย็นไว้ทางด้านหน้า [8] ดังภาพที่ 1

1.2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นจะติดตั้งไว้กลางโรงเรือนในระดับที่เหมาะสมกับตัวไก่ [5] ซึ่งจะหนีจากพื้นขึ้นมาผ่านมือถือแอนดรอยด์ โดยแอปพลิเคชัน Blynk



ภาพที่ 1 แบบโรงเรือนเลี้ยงไก่อารมณ์ดีจำลอง

ประมาณ 3-4 ซม. ควบคุมโดยกล่องคอนโทรลระบบ Arduino
1.3) เชื่อมต่อสัญญาณ Wifi ให้กล่องควบคุม โดยใช้แอปพลิเคชัน ESP8266 SmartConfig [2]

1.4) ติดตั้งระบบปั๊มน้ำโดยใช้สายยางส่งน้ำไปยังรางน้ำที่มีหัวปล่อยน้ำทางด้านบนของโรงเรือนจำลอง ส่งมายังวัสดุทดแทนสำหรับระบบทำความเย็น เมื่อน้ำผ่านวัสดุทดแทนแล้วก็จะถูกส่งไปยังถังพักน้ำที่ได้ติดตั้งปั๊มน้ำไว้ เป็นระบบน้ำวนต่อไป

2) วิธีการทดลอง

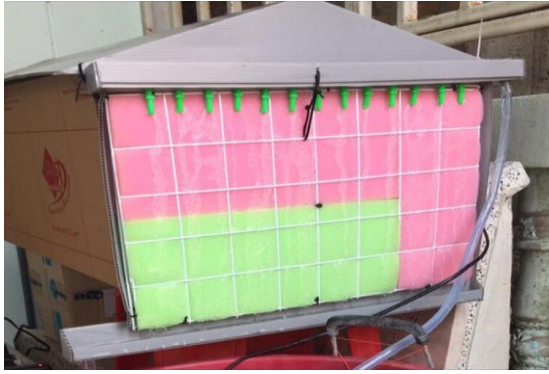
2.1) วัสดุที่จะนำมาทำการทดลองได้ คือวัสดุที่สามารถหาได้ตามท้องถิ่น และราคาไม่แพง ได้แก่ ฟองน้ำ กระสอบป่าน และกาบมะพร้าว

2.2) หลังจากที่ได้วัสดุที่จะนำมาทดลองแล้วจึงได้ดำเนินการสร้างโรงเรือนจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพการทำความเย็น

2.3) สร้างโรงเรือนจำลองที่ทำขึ้นโดยใช้แผ่นอะคริลิก กว้าง 40 cm สูง 30 cm ยาว 80 cm เจาะช่องทั้งสองด้าน ด้านหนึ่งไว้สำหรับติดตั้งวัสดุทดแทนแผ่นรังผึ้งโดยด้านบนจะติดตั้งรางน้ำ เพื่อปล่อยน้ำให้ไหลผ่านวัสดุทดแทนแผ่นรังผึ้งและอีกด้านหนึ่งสำหรับติดตั้งพัดลมดูดอากาศ [10]

2.4) เมื่อทำโครงสร้างของแผ่นซับน้ำเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำมาทำการทดสอบกับชุดทดลองการทำความเย็นแบบระเหยเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไข [14] ดังภาพที่ 2

2.5) จับเวลาการทำความเย็นของวัสดุทดแทนแผ่นรังผึ้งของแต่ละชนิดโดยวัดอุณหภูมิภายนอกและวัดอุณหภูมิภายในก่อนการทดลองโดยเซนเซอร์[9] หลังจากนั้นเปิดพัดลมและปั๊มน้ำให้ทำงานผ่านวัสดุทดแทนแผ่นรังผึ้งแล้วจึงเริ่มจับเวลาทำการทดลองที่ละวัสดุ ทำวัสดุครั้งละสามชั่วโมง เก็บผลทดลองทุก 15 นาที ทำทดลองซ้ำไปจนครบ 3 ครั้ง และทดลองให้ทำงานแบบอัตโนมัติ 1 ครั้ง รวมทั้งหมดเป็น 4 ครั้ง หลังจากเก็บผลการทดลองแล้ว วัสดุไหนสามารถทำความเย็นได้สูงสุด จะนำไปทดลองในการทดลองที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุแผ่นรังผึ้งที่ใช้ในปัจจุบันซึ่งมีราคาแพง การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง การทดลองที่ 1 การศึกษาชนิดของวัสดุทดแทนแผ่นรังผึ้ง แบบ on-off ในรูปแบบของชุดทดลองโดยควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk (ห้องปฏิบัติการ) การทดลองที่ 2 การศึกษาชนิดของวัสดุทดแทนแผ่นรังผึ้ง แบบอัตโนมัติ (auto)



ภาพที่ 2 ภาพโรงเรือนเลี้ยงไก่อร์มดัดจำลองที่ได้ติดตั้งแผ่น
ซับน้ำจากฟองน้ำ

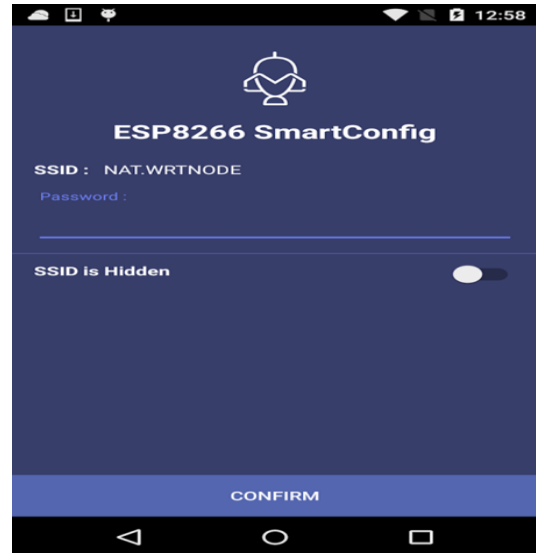
3. ผลการวิจัย (Results) และอภิปรายผล (Discussion)

ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมใน ESP8266
SmartConfig ด้วยภาษา C++ ดังตารางที่ 1

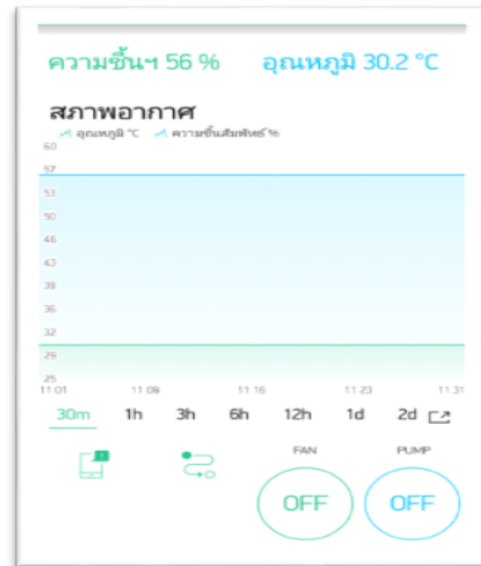
ตารางที่ 1 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมใน ESP8266 SmartConfig

การเขียนโปรแกรมใน ESP8266 SmartConfig	ผลลัพธ์
<pre>void loop() { Blynk.run(); float t = dht.readTemperature(); float h = dht.readHumidity(); if (t > 0 && h > 0) { Blynk.virtualWrite(V1, t); Blynk.virtualWrite(V2, h); } delay(1000); }</pre>	กำหนด เงื่อนไข การ ทำงานค่า อุณหภูมิ ความชื้น เมื่อถึงค่า ที่กำหนด จะทำงาน

ตารางที่ 1 เป็นตัวอย่างในการเขียนโปรแกรมเพื่อ
กำหนดค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไก่ใน
Application ESP8266 SmartConfig ในมือถือที่สามารถ
ควบคุมได้ในระยะไกล โดยสามารถ Download
Application ดังกล่าวได้ใน Google play ดังภาพที่ 3 และ
Download Application Blynk จาก Google play เพื่อดู
ผลลัพธ์อุณหภูมิและความชื้น พร้อมทั้งสามารถเปิดปิดพัดลม
ในโรงเรือนได้จากมือถือดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 ตัวอย่างแอปพลิเคชัน Blynk ในระบบแอนดรอย



ภาพที่ 4 ตัวอย่างแอปพลิเคชัน Blynk ในระบบแอนดรอย

ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย

ประสิทธิภาพของการทำความเย็นแบบระเหยจะ
ขึ้นอยู่กับสถานะของอากาศที่ใกล้สภาวะอิ่มตัวซึ่งจะเป็นตัว
บอกสมรรถนะในการทำงานของระบบการทำความเย็นแบบ
ระเหยโดยทั่วไปแสดงในรูปประสิทธิภาพอิ่มตัว (saturation
efficiency) ซึ่งจะเป็นการพิจารณาจากผลของอุณหภูมิจาก
การระเหย

ของน้ำเมื่อมีอากาศไหลผ่านผิวเปียก ดังนั้นการ
พิจารณาประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย
สามารถประเมินดังนี้ [13]

$$\varepsilon_{ev} = \frac{T_{db,i} - T_{db,o}}{T_{db,i} - T_{wb,i}} \times 100$$

โดยที่ ε_{ev} คือประสิทธิภาพการทำความเย็น (%)

$T_{db,i}$ คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อนผ่านผิว
เปียก (°C)

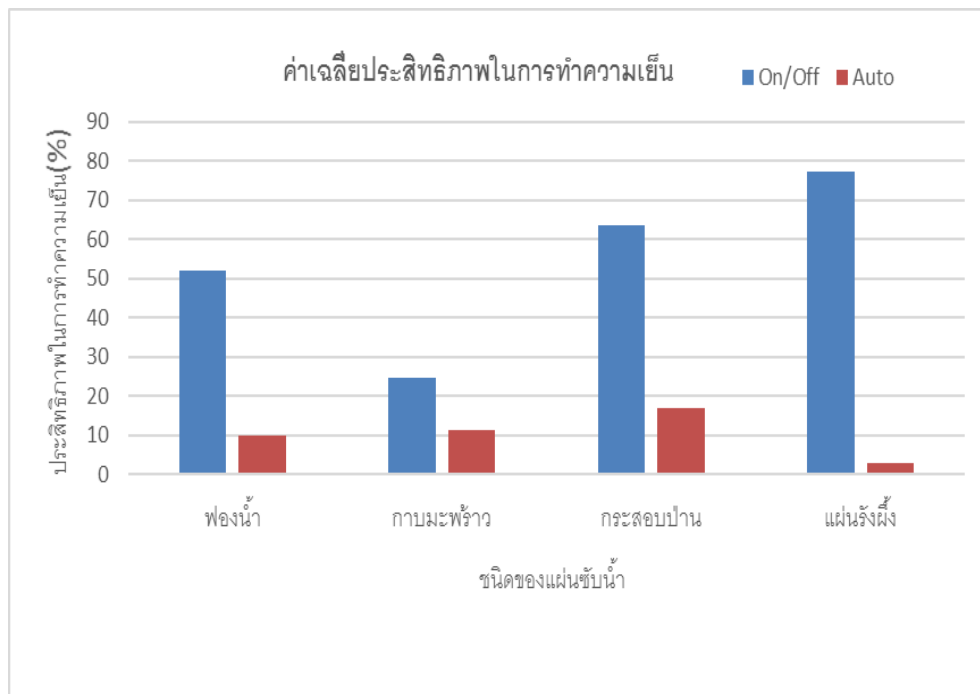
$T_{db,o}$ คืออุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศหลังผ่านผิว
เปียก (°C)

$T_{wb,i}$ คืออุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนผ่านผิว
เปียก (°C)

จากภาพที่ 5 การควบคุมแบบ on-off ซึ่งไม่ได้จำกัดค่า
อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ จึงทำให้ประสิทธิภาพของ
แผ่นซับน้ำจากวัสดุทดแทน [13] แตกต่างกันอย่างชัดเจน จะ
เห็นได้ว่าแผ่นซับน้ำแบบกระสอบป่านมีประสิทธิภาพการทำความ
เย็นสูงมากกว่าแผ่นซับน้ำแบบฟองน้ำและกาบมะพร้าว
โดยมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงที่สุดที่ 63.64% แต่
แผ่นซับน้ำแบบฟองน้ำและกระสอบป่านจะมีค่า
ประสิทธิภาพการทำความเย็นต่ำกว่าแผ่นซับน้ำแบบ
กระสอบป่านที่ 51.84% และ 24.74% เหตุที่ทำให้กระสอบ
ป่านดีกว่าเนื่องจากป่านมีความถ่วงจำเพาะของเส้นใยป่าน
1.48 กรัม/ลบ.ซม. [12] มีความเหนียว 5.2 กรัม/ดีเนียร์ ยึด

ได้น้อยมากคือประมาณ 1.6 % มีความยืดหยุ่นต่ำ ดูด
ความชื้น ที่สภาวะมาตรฐาน 12% แต่สามารถเก็บความชื้น
ได้ 30% ของน้ำหนักเมื่ออากาศชื้นมาก [15] การที่ป่าน
สามารถมีประสิทธิภาพได้ดีกว่าฟองน้ำ เนื่องจากป่านไม่ดูด
ซับน้ำมากเกินไปเหมือนกับฟองน้ำจึงทำให้น้ำสามารถพัดไป
ตามกระแสลมทำให้ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศก่อน
และหลังที่ผ่านผิวเปียกมีค่าต่างกันมากกว่า หรือหมายความว่า
สามารถลดอุณหภูมิลงได้ด้นั้นเอง ป่านประสิทธิภาพได้
ดีกว่ากาบมะพร้าวเนื่องจากกระสอบป่านมีพื้นที่ผิวรับน้ำ
มากกว่า มะพร้าว จึงทำให้ซับน้ำได้พอดีไม่มากหรือน้อยไป
และกระสอบยังบางกว่ากาบมะพร้าวจึงทำให้การถ่ายเทของ
กระแสลมได้ดี

จากภาพที่ 5 การควบคุมแบบอัตโนมัติหรือแบบ auto
ซึ่งจำกัดค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 26-27 องศาเซลเซียส ความชื้น
สัมพัทธ์อยู่ที่ไม่เกิน 75 เพื่อทดสอบว่าระบบควบคุมความ
เย็นทางไกลอัตโนมัติสามารถทำงานได้ตามที่ผู้วิจัยนั้นได้ตั้ง
ค่าไว้หรือไม่ ซึ่งผลลัพธ์คือระบบอัตโนมัติสามารถปิดและเปิด
ปั้มน้ำและพัดลมตามที่ตั้งค่าไว้ตามอุณหภูมิและความชื้นที่ตั้ง
ไว้ได้จริง ส่วนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพนั้นอาจจะดูได้
ยากเนื่องจากค่าประสิทธิภาพของวัสดุทดแทนมีค่าใกล้เคียง
กันในการทดลองแบบอัตโนมัติ(auto)



ภาพที่ 5 แสดงค่าเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นเฉลี่ย (ε_{ev}) แบบ On/Off และแบบ auto จากการทดลอง
แผ่นซับน้ำที่ทำจากวัสดุธรรมชาติ และแผ่นรังผึ้ง

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพสรุปได้ว่าแผ่นซับน้ำทั้งสามแบบมีความสามารถในการลดอุณหภูมิต่างกัน แต่แผ่นซับน้ำ แบบกระสอบป่านจะมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นที่สูงกว่าแผ่น ซับน้ำ แบบกาบมะพร้าวและฟองน้ำ จึงได้เลือกแผ่นซับน้ำ แบบกระสอบป่าน เป็นวัสดุที่ทำความเย็นได้ดีที่สุด

เพราะกระสอบป่านมีพื้นที่ผิวรับน้ำมากที่สุด และบางกว่ากาบมะพร้าว และฟองน้ำ มีความถ่วงจำเพาะของเส้นใยป่าน 1.48 กรัม/ลบ.ซม. มีความเหนียว 5.2 กรัม/ดีเนียร์ ยึดได้น้อยมากคือประมาณ 1.6 % มีความยืดหยุ่นต่ำ ดูดความชื้น ที่สภาวะมาตรฐาน 12% แต่สามารถเก็บความชื้นได้ 30% ของน้ำหนักเมื่ออากาศชื้นมาก

4. สรุปผล (Conclusion)

จากการออกแบบและสร้างโรงเรือนเลี้ยงไก่อารมณ์ดีจำลองและวัสดุทดแทน ใช้ Microcontroller เป็นตัวควบคุมระบบการทำงานของระบบโตนการเขียนโค้ดด้วยภาษา C++ ในโปรแกรม ESP8266 smartconfig ในการทดลองระบบได้ทำการใช้วัสดุทดแทนเพื่อทดสอบความชื้นและอุณหภูมิภายในโรงเรือนและกำหนดค่าอ้างอิงจากสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไก่ ในการวิจัยครั้งนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนหนึ่งเราจะควบคุมแบบ on-off สั่งการผ่านแอป Blynk ที่ควบคุมโดยระบบ Arduino[16] ขั้นตอนที่สองควบคุมแบบ auto ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศไม่เกิน 75 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 26 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบระบบ ครั้งละ 3 ชั่วโมง 3 ครั้ง เก็บผลทดลองครั้งละ 15 นาที

ผลการทดลองจากชุดทดลอง on-off แสดงให้เห็นว่าแผ่นซับน้ำแบบกระสอบป่านมีประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงมากกว่าแผ่นซับน้ำแบบฟองน้ำและกาบมะพร้าวโดยมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงที่สุดที่ 63.64% แต่แผ่นซับน้ำแบบฟองน้ำค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น 51.84% และกาบมะพร้าวมีค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น 24.74%

ผลการทดลองจากชุดทดลองอัตโนมัติ(auto) แสดงให้เห็นว่าระบบอัตโนมัติสามารถปิดและเปิดปั๊มน้ำและพัดลมตามที่ตั้งค่าไว้ตามอุณหภูมิและความชื้นที่ตั้งไว้ได้จริง

5. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้โดยการควบคุมความชื้นควรคำนึงถึงอุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน ของแต่ละช่วงเวลาและฤดูกาล

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยต่อไปโดยสามารถนำระบบควบคุมไปใช้กับโรงเรือนเลี้ยงไก่ โรงเรือนเพาะเห็ด และสามารถให้เกษตรกรเข้าถึงได้ง่ายเพราะต้นทุนต่ำ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] นพพร เปรมใจ, อัครรัตน์ พูลกระจ่าง, “การศึกษาประสิทธิภาพแผ่นซับน้ำจากวัสดุธรรมชาติสำหรับโรงเรือนเลี้ยงไก่. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2554, ข้อมูลจาก https://cscd.kku.ac.th/uploads/proceeding/060911_153928.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 กุมภาพันธ์ 2561)
- [2] คณะกรรมการพัฒนาโมดูล
คณะกรรมการ. (ม.ป.ป.). “Do it Node M Cu Lua ESP8266 ESP-12E WIFI.” ข้อมูลจาก <https://th.aliexpress.com/item/Geekcreit-Doit-NodeMcu-Lua-ESP8266-ESP-12E-WIFI-Development-Board/32757813969.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 62)
- [3] จรัส สว่างทัพ, หลักการเลี้ยงสัตว์.: โปรแกรมวิชาสัตว์บาล คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏบุรีรัมย์, บุรีรัมย์, 2539
- [4] ธาตรี จิราพันธ์, หลักการผลิตสัตว์.: คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์, นครสวรรค์, 2548
- [5] บริษัท ยูที เอ็นยีเนียร์ อินเทอร์เน็ตชั่นแนล จำกัด, ออกแบบ จัดทำ และติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ระบบประหยัดพลังงาน และ ระบบทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ ให้แก่อุตสาหกรรมต่างๆ, ข้อมูลจาก: <https://www.evap-cooling.com/15440833/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 กุมภาพันธ์ 2562)
- [6] ปัทมรัตน์ ศาสตร์สารและคณะ, ประสิทธิภาพของแผ่นทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้กระดาษหนังสือพิมพ์เป็นตัวกลางผิวเปียก. วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าธนบุรี, 2547
- [7] ภัชราวดี ขุนทอง, การตรวจวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพอากาศภายในและ ภายนอกอาคารของห้องเรียนภายใต้การระบายอากาศแบบธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 162 น, 2549
- [8] มกอช.9000-2548. มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ. เกษตรอินทรีย์ เล่ม 2 : ปศุสัตว์อินทรีย์. สำนักมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติกระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548

- [9] มานพ แยมแพง, การควบคุมอุณหภูมิแล้วความชื้นในโรงเลี้ยงไหมวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547
- [10] วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม (สยามเทค), ความรู้เบื้องต้นระบบปรับอากาศ, 2556, ข้อมูลจาก <http://www.siamtech.ac.th/Learning/anucha/Knowledge.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 กรกฎาคม 2561).
- [11] สรากร แทบศรี, ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์โรงเรียนเพาะเห็ดแบบปิด. ปริญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้ามหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 2555
- [12] สมชัย อัครทิวาและขวัญจิตร วงษ์ชาติ, เทอร์โมไดนามิกส์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ท็อป, 2545
- [13] สมชาย มณีวรรณ 1 มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก 65000 และชัยวัฒน์ ยิ้มช้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. เมืองจ. นครสวรรค์ 60000, การศึกษาแผ่นเซลล์กระดาศสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย, 2550, ข้อมูลจาก https://digital.lib.kmutt.ac.th/journal/loadfile.php?A_ID=317 (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 62)
- [14] สมชาย มณีวรรณ และชัยวัฒน์ ยิ้มช้าง, การศึกษาแผ่นเซลล์กระดาศสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย, วารสารวิจัยและพัฒนาสมร. ปีที่ 30 ฉบับที่ 3 (ก. ค.-ก. ย. 2550) หน้า 523-536, 2550
- [15] สุทิน อยู่สุข, วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, ชัยยุทธ ขวลิตนิธิกุล และ ทวีสุข พันธุ์เพ็ง, การระบาย อากาศแบบทั่วไป, 2556, ข้อมูลจาก [http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-2\(1\).pdf](http://www.safety-stou.com/UserFiles/File/54114-2(1).pdf) (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 กรกฎาคม 2561).
- [16] สุรนารี, Arduino thailand Microcontroller, 2558, ข้อมูลจาก: WWW.arduino.in.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 3 มิถุนายน 2561)
- [17] CIWF Trust, The Way Forward for Europe's Egg Industry: Keeping the Ban on Battery Cages in 2012, <http://www.ciwf.org>
- [18] Commission to the European Communities, Brussels, 8.10.2008, COM(2007) 865 final
- [19] FAWC, Five Freedoms, 2005 <http://www.fawc.org.uk/2freedoms.htm>
- [20] Ingroup, สูตรคำนวณปริมาตรห้องและอัตราการระบายอากาศ, 2559, ข้อมูลจาก <http://www.tngroup.co.th> (วันที่สืบค้นข้อมูล 14 มกราคม 62).
- [21] Nat Weerawan, ESP8266 SmartConfig, 2018, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.cmmakerclub.iot.esptouch&hl=th> (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 มกราคม 62)

การพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จาก ขานอ้อยเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทิ้ง Modified activated carbon from Sugarcane Bagasse for removal of wastewater contamination

มัทนา สันตสนธิโชค¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
169 ถ. ลาดยาวบางแสน ต. แสนสุข อ. เมือง จ. ชลบุรี 20131 mattana@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยโดยใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุประสานเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทิ้ง ในการศึกษาเน้นการศึกษาปริมาณการดูดซับแคดเมียม โดยวิธีการเตรียมถ่านกัมมันต์ได้จากการเผาขานอ้อยที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส จากนั้นใช้วิธีการกระตุ้นทางเคมีโดยใช้ซิงค์คลอไรด์เป็นตัวกระตุ้นที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เมื่อได้ถ่านกัมมันต์แล้วนำมาบดเป็นผงและผสมกับดินเหนียว ในอัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียวที่ 2:8, 3:7, 4:6, 6:4, 7:3 และ 8:2 ตามลำดับ จากนั้นทำการอัดเม็ดถ่านด้วยเครื่องอัดเม็ด เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ในสภาวะไร้ออกซิเจน นำถ่านกัมมันต์ที่ได้ทดสอบ ความกร่อนของเม็ดถ่านกัมมันต์ในน้ำ การวิเคราะห์หาค่าไอโอดีนัมเบอร์ และความสามารถในการดูดซับสารแคดเมียมในน้ำ จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนระหว่างผงถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียวที่เหมาะสมในการขึ้นรูป เท่ากับ 7:3 ซึ่งมีค่าร้อยละความกร่อนของเม็ดถ่านในน้ำเท่ากับ 4.05 ค่าไอโอดีนัมเบอร์เท่ากับ 386.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับสารแคดเมียมมีค่าเท่ากับ 133.88 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : ขานอ้อย, ถ่านกัมมันต์, ดินเหนียว, การดูดซับ, สารแคดเมียม

Abstract

The aim of this study is to modify the efficiency of activated carbon from sugarcane bagasse for the removal of wastewater contaminant focusing on the amount of cadmium adsorption. The activated carbon was prepared from the sugarcane bagasse that was heat up at 400°C. The zinc chloride was used as a catalyst at 500°C. The produced activated carbon was ground into powder and later mixed with clay at six different ratios of activated carbon to clay which are 2:8, 3:7, 4:6, 6:4, 7:3 and 8:2 respectively. The activated carbon was then pelletized with a pellet machine and burned at 700°C in anaerobic condition. The activated carbon was tested for granular corrosion and the ability to absorb cadmium in water. The results showed that the mixed activated carbon to clay with a ratio of 7:3 is the most suitable for the removal of wastewater contaminant that have property of granular corrosion of 4.05%, the iodine number of 386.37 mg/g, and result in the cadmium adsorption of 133.88 mg/g.

Keywords: sugarcane bagasse, activated carbon, clay, adsorption, cadmium

1. บทนำ

ประเทศไทยได้มีการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ในปัจจุบันนี้มีปัญหาด้านมลภาวะ โดยเฉพาะมลภาวะทางน้ำและสภาวะทางอากาศ เห็นได้จากปัญหาน้ำเสียในแม่น้ำ ลำคลอง เขตนิคมอุตสาหกรรม ในน้ำเสียมักจะตรวจพบโลหะหนัก และสารเคมีปนเปื้อนอยู่ น้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรมมีการบำบัดหลายวิธี กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความเหมาะสมในการกำจัดน้ำเสีย เนื่องจากไม่มีการเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้จึงเป็นทางเลือกใช้ในปัจจุบัน

ถ่านกัมมันต์ (activated carbon หรือ activated charcoal) เป็นวัสดุที่ประกอบด้วยคาร์บอนที่มีปริมาณพื้นที่ผิว (Total Surface Area, TSA) ต่อน้ำหนักสูง จึงส่งผลทำให้มีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดี สามารถไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น การบำบัดน้ำ ตัวดูดซับกลิ่นและตัวดูดซับสี เป็นต้น การเตรียมถ่านกัมมันต์ในปัจจุบันมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นวัตถุดิบและสมบัติที่ต้องการโดยทั่วไปประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การคาร์บอนไนเซชัน (carbonization) เป็นการให้ความร้อนทำให้สารระเหยแตกตัวและแทรกออกจากวัตถุดิบทำให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เรียกว่า ถ่าน (charcoal) ส่วนขั้นตอนที่สองเรียกว่า การก่อกัมมันต์ (activation) เป็นการกระตุ้นทำให้ถ่านมีพื้นที่ผิวมากขึ้น ในขั้นตอนการก่อกัมมันต์โดยทั่วไปมี 2 แบบ ได้แก่ การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical Reactivation) และการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical Activation) โดยการกระตุ้นทางกายภาพวัตถุดิบจะถูกเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นถ่านคาร์บอน โดยใช้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 700 - 800 องศาเซลเซียส หรือช่วงอุณหภูมิของวัตถุดิบที่ใช้การผลิตในสภาวะปราศจากออกซิเจน เพื่อไม่ให้วัตถุดิบเกิดการลุกไหม้ และเพื่อกำจัดสารอื่นๆ ออกไปด้วย จากนั้นนำถ่านคาร์บอนที่ได้ไปกระตุ้นด้วยความร้อนช่วงอุณหภูมิประมาณ 900 - 1,100 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีไอน้ำหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และบดให้เป็นผงหรือเกล็ดที่มีขนาดตามการใช้งาน การกระตุ้นด้วยสารเคมีเป็นการเปลี่ยนวัตถุดิบโดยใช้สารเคมีบางชนิด เช่น ซิงค์คลอไรด์ กรดฟอสฟอริก และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ร่วมกับการใช้ความร้อน

อุณหภูมิระหว่าง 400 - 600 องศาเซลเซียส [1] วัตถุดิบโดยทั่วไปที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยมากเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว ชานอ้อย กะลาปาล์ม และไม้ไผ่ เป็นต้น

ชานอ้อย (Bagasse) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย 3.5 ล้านตันต่อปี เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมาก และเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมในประเทศ ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรม รายได้จากภาคอุตสาหกรรมทำรายได้มากกว่าภาคเกษตรกรรมอย่างน้อย 2 เท่า [2] ในขณะที่ภาคเศรษฐกิจของประเทศมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เป็นส่วนที่ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งปัญหามลพิษทางน้ำไม่ได้เกิดความเสี่ยงในรูปของบีโอดี (BOD) เพียงอย่างเดียว เมื่อภาคอุตสาหกรรมเกิดการขยายตัวมากขึ้นปัญหาปริมาณโลหะหนัก สารพิษ และสารอันตรายอื่นๆ ที่เกินมาตรฐานจึงเป็นปัญหาตามมาเช่นกัน [3] การบำบัดน้ำเสียด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถบำบัดน้ำเสียได้จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการนำถ่านกัมมันต์ไปใช้ในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียหรือการนำไปใช้ในวัฏภาคของเหลว [5, 6] จะใช้ถ่านกัมมันต์ในรูปของถ่านกัมมันต์แบบผงอัดแท่งหรือไม่ระบุกระบวนการขึ้นรูปเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะไม่สามารถยึดเกาะหรือขึ้นรูปได้ดีเท่าที่ควร และอนุภาคของถ่านกัมมันต์อาจจะเกิดการแตกหรือกระจายตัวในน้ำทำให้ต้องเพิ่มกระบวนการกำจัดหรือกรองอนุภาคของถ่านกัมมันต์ออกจากน้ำ [6]

ดังนั้นจุดประสงค์ของการศึกษานี้คือการเพิ่มประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากชานอ้อย โดยการนำดินเหนียวมาใช้เป็นวัสดุประสานในการขึ้นรูป เนื่องจากดินเหนียวเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เมื่อเผาให้ความร้อนจึงมีรูพรุนเกิดขึ้น การขึ้นรูปถ่านกัมมันต์โดยการผสมกับดินเหนียวทำให้มีพื้นที่ผิวลดลงเล็กน้อย แต่จะทำให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นเมื่อมีการขึ้นรูปและการดูดซับที่ดีขึ้นในวัฏภาคของเหลว โดยทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทิ้ง คือ สารแคดเมียม (Cadmium) ซึ่ง

เป็นสารเจือปนที่ถูกกลายออกมาในกระบวนการผลิตของ
อุตสาหกรรมผลิตเหล็กและโลหะ

2. วิธีวิจัย

2.1 การผลิตถ่านกัมมันต์

การเตรียมถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการกำจัด
องค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่คาร์บอนออกจากวัตถุดิบโดยการ
อบขาน้อยที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้น
และเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
จากนั้นนำตัวอย่างมากระตุ้นด้วยสารเคมีเพื่อเป็นการเพิ่ม
พื้นที่ผิว และรูพรุนของวัตถุดิบโดยจะแช่ใน $ZnCl_2$ ที่
อัตราส่วน 1:1 ($ZnCl_2$: คาร์บอน) โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 12
ชั่วโมงจากนั้นจะทำการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส
เพื่อลดความชื้น และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็น
เวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้การไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 150
มิลลิลิตรต่อนาที นำวัตถุดิบที่ได้จากขั้นตอนการกระตุ้นด้วย
สารเคมี ล้างด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น
0.5 โมลาร์ แล้วล้างด้วยน้ำอุ่น จนกระทั่งค่า pH มีค่าเป็น
6.6-7.3 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เพื่อ
ทำวัตถุดิบให้แห้ง นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านกัมมันต์ ชนิด
ขึ้นรูปโดยไม่ใช้ดินเหนียวเป็นวัตถุดิบ

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติถ่านกัมมันต์และการดูด ซับโลหะแคดเมียม

2.2.1 การทดสอบความกร่อน (Friability) ของเม็ด
ถ่านในน้ำ นำตัวอย่างมาอบเพื่อกำจัดความชื้น ที่อุณหภูมิ
105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บใน
โถดูดความชื้นเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ซึ่งน้ำหนักตัวอย่าง
จากนั้นนำไปแช่ในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ
180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาอบเพื่อ
กำจัดความชื้นอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็น
เวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปเก็บในโถดูดความชื้นที่ 12 ชั่วโมง
นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความกร่อนในสถานะ
ของเหลว

2.2.2 การวัดความสามารถในการดูดซับปริมาณ
ไอโอดีนของถ่านกัมมันต์ โดยบดและคัดขนาดให้ละเอียด
ร่อน ผ่านตะแกรง 300 mesh นำตัวอย่างที่ได้มาทำให้แห้ง
และนำผงถ่านกัมมันต์ใส่ในโถดูดความชื้น ตั้งที่อุณหภูมิห้อง
และบันทึกน้ำหนักเท่ากับ M นำตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่
ลงในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมกับจุกปิด
เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ร้อยละ 5 จากน้ำหนัก
ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในขวดที่มีถ่านกัมมันต์ หลังจากนั้น
ปิดฝาขวดและหมุนวนเบาๆ จนกว่าจะดูดซับถ่านกัมมันต์
อย่างสมบูรณ์ และนำไปต้ม เพื่อขจัดกำมะถันที่อาจรบกวน

ผลการทดสอบ จากนั้นปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ปิด
สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ลงในขวด
ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิดขวดทันทีและเขย่าด้วยเครื่อง
เขย่าสาร ที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที และทำการกรอง
ผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 กรองไอโอดีนที่ได้ปริมาตร 20
ถึง 30 มิลลิลิตร เพื่อล้างปิเปตและบีกเกอร์ จากนั้นปิเปต
ไอโอดีนที่ได้ 50 มิลลิลิตร ของสารกรองแต่ละตัวลงในขวด
ชมพู่ที่สะอาด 250 มิลลิลิตร และไตเตรตด้วยสารละลาย
โซเดียมไฮโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนกระทั่ง
สารละลายเป็นสีเหลืองอ่อน จากนั้นเติมน้ำแอมโมเนีย 2 มิลลิลิตร
และไตเตรตต่อด้วยโซเดียมไฮโอซัลเฟตจนสารละลายไม่มีสี
และ บันทึกปริมาณโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้

2.3 วัดการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสีย

เตรียมแคดเมียมที่มีความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในหลอดเซนต์ปีฟพร้อมฝาปิด เติมน้ำ
ถ่านกัมมันต์ลงในสารละลาย เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบ
ต่อนาที เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่เขย่าแล้วมาทำ
การกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ให้ได้ปริมาตร 20
มิลลิลิตร นำสารละลายที่ผ่านการกรอง มาตรวจวัดความ
เข้มข้นด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ Inductive Coupled
Plasma Spectrometer (ICPS)

2.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์

ประสิทธิภาพการดูดซับ และร้อยละการกำจัดแค
ดเมียมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2)

ค่าการดูดซับแคดเมียม

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

คำนวณค่าร้อยละการกำจัด (%Removal)

$$Removal(\%) = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_0} \quad (2)$$

โดย Q_e คือ ความสามารถในการดูดซับแคดเมียมที่สภาวะ
สมดุล (mg/L) C_0 คือ ความเข้มข้นแคดเมียมเริ่มต้น
(mg/L) C_e คือ ความเข้มข้นแคดเมียมที่สภาวะสมดุล
(mg/L) V คือ ปริมาตรของแคดเมียม (mg)
และ W คือ น้ำหนักถ่านกัมมันต์ (g)

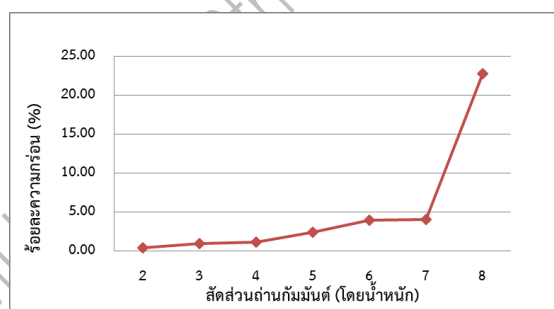
4. ผล และอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบความกร่อนในน้ำของเม็ดถ่าน

การวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมในการนำถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการขึ้นรูปด้วยดินเหนียวแล้วนำไปใช้ในการดูดซับในสถานะของเหลว การแตกตัวของผงถ่านในน้ำทำให้ต้องเพิ่มกระบวนการกรองและเกิดสภาวะความดันตกคร่อมสูง เมื่อนำไปใช้จริงในการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการนำผงถ่านกัมมันต์ไปอัดเม็ดโดยใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุประสานจะสามารถช่วยลดการแตกตัวของผงถ่านในของเหลวได้ โดยทำการทดลองอัดเม็ดที่อัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4, 7:3 และ 8:2 โดยน้ำหนัก เพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสม

ภาพที่ 1 คาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านกัมมันต์ มีความสัมพันธ์ตามอัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์กับดินเหนียว โดยพบว่าที่อัตราส่วน 2:8, 3:7, 4:6, 5:5, 6:4 และ 7:3 มีคาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านอยู่ที่ 0.46, 0.95, 1.16, 2.47, 3.98 และ 4.05 ตามลำดับ และที่อัตราส่วน 8:2 มีคาร์บอนความกร่อนอยู่ที่ 22.77 เมื่อสัดส่วนดินเหนียวมีปริมาณลดลงทำให้การยึดประสานระหว่างถ่านกัมมันต์และดินเหนียวมีค่าน้อยลง ส่งผลให้คาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านมีค่ามากขึ้น ซึ่งทำให้มีผลต่อการนำไปใช้

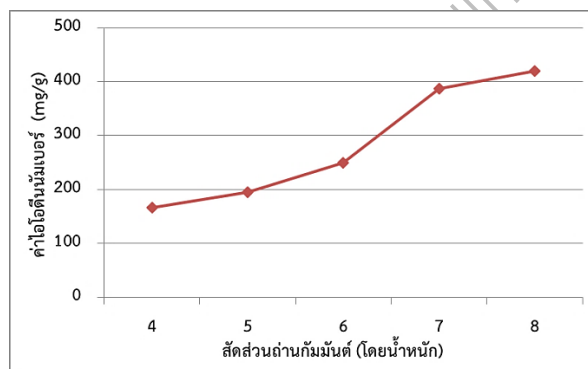
หากพิจารณาเพียงคาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านในน้ำการเลือกอัตราส่วนในการขึ้นรูป ควรเลือกอัตราส่วนที่มีสัดส่วนของดินเหนียวสูงเพื่อการยึดประสานที่ดี แต่เนื่องจากค่าการแตกตัวเป็นค่าที่ไม่สามารถระบุได้ว่าเม็ดถ่านมีคุณสมบัติในการดูดซับที่ดีหรือไม่ ดังนั้นจึงนำผงถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการอัดเม็ดในอัตราส่วนต่างๆไปทดสอบการดูดซับไอโอดีนตามมาตรฐานของ ASTM D 4607-86 เพื่อทดสอบคุณสมบัติการดูดซับของเม็ดถ่าน



ภาพที่ 1 คาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยในน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว

4.2 ผลการวัดความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนของถ่านกัมมันต์

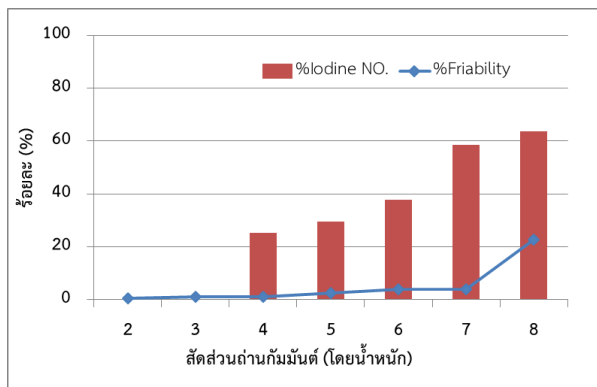
เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติบอกถึงความพรุนและประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 4607-86 เนื่องจากถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับไอโอดีนได้ดี ดังนั้นค่าการดูดซับไอโอดีนจึงถูกใช้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของถ่าน โดยวัดเป็นมิลลิกรัมของไอโอดีนต่อน้ำหนักของวัสดุดูดซับ ซึ่งการทดสอบได้นำถ่านอัดเม็ดที่อัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียวเท่ากับ 4:6, 5:5, 6:4, 7:3 และ 8:2 โดยน้ำหนัก และผงถ่านกัมมันต์มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลการวัดความสามารถในการดูดซับไอโอดีนที่อัตราส่วนต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว

ภาพที่ 2 ค่าไอโอดีน (mg/g) มีความสัมพันธ์ตามอัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์กับดินเหนียว โดยพบว่าที่อัตราส่วน 4:6, 5:5, 6:4, 7:3 และ 8:2 มีค่าไอโอดีน (mg/g) อยู่ที่ 166.29, 195.24, 248.79, 386.37 และ 419.67 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และผงถ่านกัมมันต์มีค่าไอโอดีน (mg/g) อยู่ที่ 659.64 มิลลิกรัมต่อกรัม

ค่าไอโอดีน (mg/g) ที่เพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณผงถ่านในเม็ดถ่านดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งหากนำค่าไอโอดีน (mg/g) มาพิจารณาร่วมกับคาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านในน้ำนั้น พบว่าที่อัตราส่วน 8:2 มีค่าไอโอดีน (mg/g) ที่สูงถึง 419.67 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่คาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านในน้ำมีค่าถึง 22.77 แสดงให้เห็นถึงการยึดประสานที่ไม่ดีเท่าที่ควร จึงพิจารณาความเหมาะสมที่อัตราส่วน 7:3 ที่ให้ค่าไอโอดีน (mg/g) อยู่ที่ 386.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคาร์บอนความกร่อนของเม็ดถ่านอยู่ที่ 4.05 สามารถนำไปคำนวณหาคาร์บอนการกำจัดได้เท่ากับ 49.73

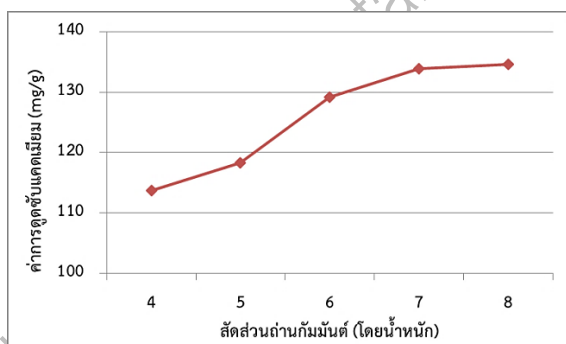


รายการที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์ที่กำหนด	วิธีการทดสอบ
1	ค่าไอโอดีน ไม่น้อยกว่า	600	AWWA B600
2	ความหนาแน่นปรากฏ กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร	0.20 ถึง 0.73	

ภาพที่ 3 ค่าการดูดซับไอโอดีนกับค่าร้อยละความกร่อน อัตราส่วนต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว

4.3 การทดสอบการดูดซับแคดเมียม

การทดสอบการดูดซับแคดเมียมโดยใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับที่อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว 4:6, 5:5, 6:4, 7:3, 8:2 และผงถ่านกัมมันต์ ค่าการดูดซับแคดเมียมจะมีหน่วยเป็น มิลลิกรัมแคดเมียมต่อกรัมวัสดุดูดซับ ซึ่งมีผลดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การดูดซับแคดเมียมที่อัตราส่วนต่างๆ ของถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว

ภาพที่ 4 แสดงค่าการดูดซับแคดเมียม โดยที่ค่าการดูดซับแคดเมียมที่อัตราส่วนถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียว 4:6, 5:5, 6:4, 7:3 และ 8:2 มีค่าอยู่ที่ 113.72, 118.29, 129.14, 133.8 และ 134.59 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าการดูดซับ

แคดเมียมของผงถ่านกัมมันต์อยู่ที่ 143.41 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่าการดูดซับแคดเมียมมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียวและค่าการดูดซับแคดเมียมมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกับค่าไอโอดีนนมเบอร์

จากการนำถ่านกัมมันต์ในทางการค้ามาพิจารณาพบว่า ค่าไอโอดีนนมเบอร์ที่ได้จากการทดลองแบบอัดเม็ดที่อัตราส่วน 7:3 เท่ากับ 386.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และแบบผงถ่านมีค่าเท่ากับ 659.64 มิลลิกรัมต่อกรัม เปรียบเทียบกับค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่จำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งอยู่ที่ 800-1000 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าไอโอดีนนมเบอร์ตามมาตรฐานที่สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด ไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์และเคมีของผงถ่านกัมมันต์ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [4]

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าการดูดซับแคดเมียมของถ่านกัมมันต์จากการทดลองกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า

ถ่านกัมมันต์	ค่าการดูดซับแคดเมียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	อ้างอิง
ถ่านกัมมันต์เม็ดที่อัตราส่วน 7:3	133.83	-
ถ่านกัมมันต์จากการ	143.41	-
ถ่านกัมมันต์จากฟางข้าวโพด	196.1	[5]
ถ่านกัมมันต์จากเปลือกมะพร้าว	104.17	[6]
ถ่านกัมมันต์เชิงพาณิชย์	90.09	[6]

จากตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดซับแคดเมียมของถ่านกัมมันต์ที่ใช้ในทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น จะเห็นว่าค่าการดูดซับแคดเมียมที่ทดลองได้อยู่ในช่วงของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดอื่นที่สามารถดูดซับได้เช่นกัน

5. สรุปผล

จากการศึกษาการพัฒนาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยโดยใช้ดินเหนียวเป็นวัสดุเชื่อมประสานเพื่อการดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทั้งสามารสรุปได้ดังนี้

5.1 อัตราของผงถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียวในการอัดขึ้นรูปที่เหมาะสม คือที่อัตราส่วน 7:3 ซึ่งมีค่าร้อยละความกรองของเมื่อด่านในน้ำเท่ากับ 4.05

5.2 จากการทดสอบหาค่าไอโอดีนนมเบอร์พบว่าที่อัตราส่วน ผงถ่านกัมมันต์ต่อดินเหนียวที่ 7:3 มีค่าไอโอดีนนมเบอร์ เท่ากับ 386.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าไอโอดีนนมเบอร์ของผงถ่านกัมมันต์มีค่าเท่ากับ 659.64 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งค่าไอโอดีนนมเบอร์ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้นั้นผ่านมาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมที่กำหนดไว้ และพบว่าค่าไอโอดีนนมเบอร์จะมากขึ้นตามอัตราส่วนของผงถ่านที่เพิ่มขึ้น

5.3 ผลของการดูดซับโลหะแคดเมียมที่อัตราส่วนของผงถ่านต่อดินเหนียวที่ 7:3 และผงถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 133.83 และ 143.41 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และที่อัตราส่วนของผงถ่านต่อดินเหนียวที่ 7:3 มีค่าร้อยละการกำจัดเท่ากับ 49.73 เมื่อนำค่าของการดูดซับโลหะแคดเมียมมาทำการเปรียบเทียบกันจะแสดงให้เห็นว่าถ่านกัมมันต์ที่ขึ้นรูปและไม่ขึ้นรูปด้วยดินเหนียวมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าถ่านกัมมันต์จากขานอ้อยสามารถใช้การดูดซับสารปนเปื้อนในแหล่งน้ำทั้งได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 231/2561

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิษฐ์, สาระนารู้ ถ่านปลุกฤทธิ์, ข้อมูลจาก <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge?limit=10&start=40>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 กันยายน 2560)
- [2] ธัญญรัตน์ คงขุนเทียน, วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมสำหรับผลิตสิ่งทอ, โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบภาคการเกษตรด้วยการ

พัฒนาเส้นใยธรรมชาติสู่อุตสาหกรรม, สถาบันพัฒนา

อุตสาหกรรมสิ่งทอ, กรุงเทพฯ, 2557

- [3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, ตำราระบบบำบัดมลพิษทางน้ำ, กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556

- [4] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, เรื่อง ถ่านกัมมันต์, ข้อมูลจาก

<http://research.rid.go.th/vijais/moa/fulltext/TIS900-2547.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 กุมภาพันธ์ 2562)

- [5] Hong G., Shufen Z., Zinong K., Shangru Z., Wei M.

and Yi Y. "Removal of cadmium (II) from aqueous

solutions by chemically modified maize straw", Carbohydrate Polymers, Vol.115, 177-185, 2015

- [6] Amir Fouladi, T., Tahereh, K. and Mansooreh, S.

"Adsorption of cadmium from aqueous solutions on sulfurized activated carbon prepared from nut shells", Journal of

Hazardous Materials, Vol. 165, 1159-1164, 2009

การลดของเสียในกระบวนการผลิตปลอกพีวีซีหุ้มขั้วสายไฟฟ้า Waste Reduction in PVC Terminal Sleeve Process

มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์¹, สุขุม โฆษิตชัยมงคล¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

Pipatpaiboon_m @su.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตปลอกพีวีซีหุ้มขั้วสายไฟฟ้าซึ่งส่งผลกระทบต่อโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างมาก ทำให้โรงงานมีต้นทุนในการผลิตเพิ่มมากขึ้น ประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนแรงงาน และเวลาที่สูญเสียไป จากการศึกษาพบว่า ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นคิดเป็น 22.08 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณการผลิตทั้งหมด คิดเป็นมูลค่าประมาณ 173,800 บาทต่อเดือน ของเสียหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมี 3 ประการ ดังนี้ 1) ลักษณะการเกิดฟอง 2) ลักษณะการเกิดลาย 3) ลักษณะชิ้นงานไม่สุก หลังจากดำเนินการปรับปรุง โดยการจัดทำคู่มือในการปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐาน และประยุกต์ใช้เทคนิคการลดความสูญเสีย 7 ประการ พบว่า ผลการจากดำเนินการปรับปรุง พบว่าเปอร์เซ็นต์ของเสียในการผลิตผลิตภัณฑ์ปลอกพีวีซีหุ้มขั้วสายไฟฟ้าที่ทำการศึกษา จากก่อนการปรับปรุงเกิดของเสีย 22.08% และหลังการปรับปรุงเกิดของเสีย 16.99% ซึ่งของเสียลดลงหลังการปรับปรุง 5.09% ซึ่งทำให้มูลค่าของเสียลดลง 24,267 บาทต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 291,204 บาทต่อปี

คำสำคัญ: การลดของเสีย;ปลอกพีวีซีหุ้มขั้วสายไฟฟ้า

Abstract: This research aims to reduce the product wasted in the PVC Terminal Sleeve production process that affects to manufacturer. Include, the cost of raw materials, labor costs and wasted time are also increased. According to studies, it found that the amount of waste generated accounted for 22.08 percent of total production. The main waste in the production process is three appearances: 1) the characteristics of the bubble 2) the characteristics of the line pattern 3) the characteristics of the work is not settled. After the improvement by providing a standard operating manual and applying, the seven waste technique. It found that the percentage of wastes in the PVC jacketed electrical conductor product studied. Before the improvement of waste 22.08% and after the improvement of waste 16.99%, the waste reduced after the improvement of 5.09%, resulting in a reduction of waste value 24,267 baht per month, worth about 291,204 baht per year

Keywords: Waste Reduction; PVC Terminal Sleeve

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันประเทศไทยจัด เป็นประเทศที่มีการส่งออกผลิตภัณฑ์พีวีซีเป็นปริมาณสูงสุดในภูมิภาคอาเซียน เนื่องจากการผลิตที่ครบวงจรและมีสินค้าที่หลากหลาย ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตพีวีซีมีการผลิตพีวีซีอยู่หลายประเภท โรงงานกรณีศึกษาถือเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมผลิตพีวีซี เพื่อใช้เป็นปลอกหุ้มหัวสายไฟฟ้า ในส่วนของการผลิตปลอกพีวีซีหุ้มหัวสายไฟฟ้า โดยใช้กระบวนการจุ่ม ซึ่งโรงงานกรณีศึกษานี้มีการทำงานของเครื่องจักรและคนควบคู่กันไป ซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่องระหว่างการผลิต ดังนั้น จึงเลือกที่จะเข้าไปศึกษาในส่วนของการผลิตปลอกพีวีซีหุ้มหัวสายไฟฟ้า พบว่าโรงงานกรณีศึกษาประสบปัญหาในการผลิตผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบของลูกค้า ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น และกำไรลดลง

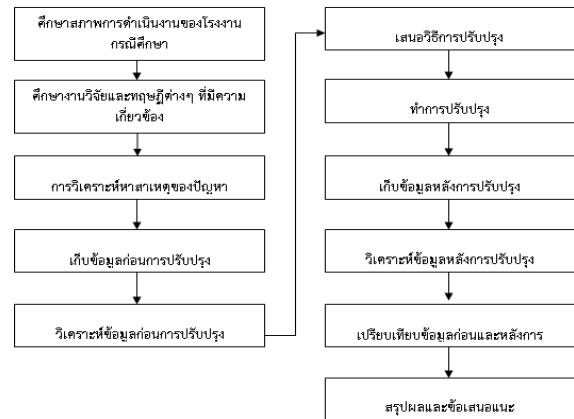
พีวีซีเรซิน[1] มีลักษณะเป็นผง พีวีซี (PVC) หรือ Polyvinyl Chloride เป็นพลาสติกชนิดหนึ่งซึ่งสังเคราะห์ขึ้นมาจาก VCM หรือ Vinyl Chloride Monomer จัดอยู่ในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถหลอมเหลวขึ้นรูปได้ด้วยความร้อน และยังสามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ (Recycle) ได้คุณลักษณะทั่วไปเป็นผงละเอียดสีขาว เมื่อติดไฟแล้วสามารถดับได้ด้วยตัวเอง (Self Extinguish) ทนต่อสภาพกรด-ด่างและน้ำ ไม่ทนความร้อน ต้องมีการเติมสารเติมแต่งก่อนนำไปใช้งาน ถ้านำมาหลอมขึ้นรูปจะมีความแข็งแรงเปราะ มีสีเหลืองใส และเมื่อเผาไหม้จะได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ก๊าซบอนไดออกไซด์ (CO₂), ก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) และน้ำ เป็นสารประกอบหลัก

พีวีซีเรซินสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ท่อน้ำ พีวีซีข้อต่อพีวีซี ฉนวนหุ้มสายไฟ หนึ่งเทียม ฯลฯ แต่พีวีซีไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยตรงจะต้องผสมกับสารเติมแต่ง (Additive) อื่นๆ อีกหลายชนิดเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น สารทำให้เสถียร (Stabilizer) สารทำให้อ่อนตัว (Plasticizer) ซึ่งช่วยปรับเปลี่ยนจากพีวีซีแข็งให้เป็นพีวีซีนิ่มได้เป็นต้น สารต่างๆ ที่นำ มาใช้จะมีการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันก่อนที่จะนำไปหลอมเพื่อขึ้นรูปต่อไป

การจุ่มเคลือบ (Dip Coating) [2] กระบวนการจุ่มเคลือบเป็นวิธีเคลือบผิวชนิดหนึ่ง โดยการจุ่มชิ้นงานลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายสำหรับการเคลือบชิ้นงาน จากนั้นจึงนำชิ้นงานออกจากสารละลายด้วยความเร็วตามกำหนด ความหนาแน่นของผิวที่เคลือบเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วที่นำชิ้นงานออกจากสารละลายความหนาแน่นของฟิล์มเกิดมาจากแรงสมดุลที่จุดหยุดนิ่ง (stagnation point) บนผิวของ

ของเหลว ความเร็วในการดึงชิ้นงานที่มากพอทำให้สารเคลือบสามารถติดที่ผิวชิ้นงานก่อนที่จะไหลกลับไปยังภาชนะที่บรรจุสารละลาย ทั้งนี้ ความหนืด และความหนาแน่นของสารละลาย รวมทั้งแรงตึงผิวเป็นปัจจัยส่วนใหญ่ที่ส่งผลกับความหนาชั้นฟิล์มที่เคลือบ

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

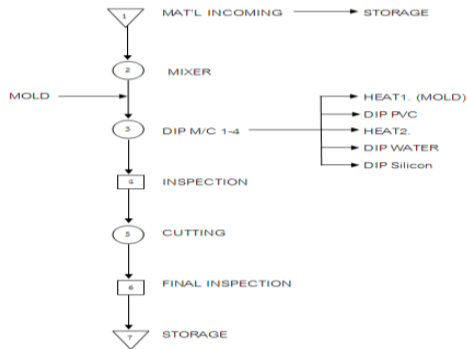


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

โรงงานผลิตปลอกพีวีซีหุ้มหัวสายไฟฟ้ากรณีศึกษานี้ เป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ผลิตและจำหน่ายเกี่ยวกับปลอกพีวีซีหุ้มหัวสายไฟฟ้า (Terminal Sleeve) โดยตัวโรงงานมีขนาด 20 x 40 ตารางเมตร มีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตปลอกหุ้มหัวสายไฟฟ้า 4 เครื่องพนักงานในสายการผลิตปลอกหุ้มหัวสายไฟฟ้า 16คนเวลาการทำงาน เริ่มงาน 7.30 น. พักเที่ยง 12.00 – 13.00 น. เลิกงาน 16.30 น. พักช่วงเช้า 10.00-10.10 น. พักช่วงบ่าย 15.00-15.10 น. รวมเวลาการทำงาน 7 ชั่วโมง 40 นาที = 460 นาที = 27600 วินาที/วัน



ภาพที่ 2 แสดงผลิตภัณฑ์ปลอกพีวีซีหุ้มหัวสายไฟฟ้า



ภาพที่ 3 แสดงลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มฉนวนไฟฟ้า โดยการจุ่ม (Dip)

ข้อมูลปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มฉนวนไฟฟ้า แบ่งประเภทของเสียเป็น ฟองอากาศ ลาย ไม่สุก และอื่นๆ แสดงตามตาราง

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มฉนวนไฟฟ้า

ประเภทของเสีย	จำนวนของเสียทั้งหมด (kg)															
	ส.ค. 56	พ.ย. 56	ธ.ค. 56	ม.ค. 57	ก.พ. 57	มี.ค. 57	เม.ย. 57	พ.ค. 57	มิ.ย. 57	ก.ค. 57	ส.ค. 57	ก.ย. 57	ต.ค. 57	พ.ย. 57	ธ.ค. 57	รวม
จำนวนผลิตภัณฑ์	4168	3633	4185	4221	3698	4356	3084	3563	4063	3635	4610	4047	47264	3939	100	
ฟองอากาศ	222	227	280	264	205	238	170	245	266	283	285	333	3019	252	6.39	
ลาย	188	180	177	167	172	181	142	159	185	177	213	169	2109	176	4.46	
ไม่สุก	113	112	108	110	106	127	118	106	125	111	180	141	1456	121	3.08	
ผิวสัมผัส	101	82	103	95	84	92	93	106	102	86	101	63	1107	92	2.34	
น้ำหนักเกิน	79	75	95	85	115	102	101	97	54	68	70	52	991	83	2.10	
ความหนาไม่มาตรฐาน	76	50	73	78	61	66	59	57	74	67	75	52	788	66	1.67	
รูปร่าง	65	45	67	55	50	50	46	51	53	45	77	51	654	54	1.38	
อื่นๆ	24	14	32	24	32	19	34	17	19	29	33	32	309	26	0.65	
รวมของเสีย (kg)	868	785	934	878	825	875	763	837	876	866	1034	893	10434	869	22.08	
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	20.82	21.60	22.32	20.81	22.32	20.08	24.74	23.49	21.57	23.82	22.43	22.05	22.08	22.08	22.08	

จากการศึกษาสาเหตุและลักษณะของเสียจากการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มฉนวนไฟฟ้า

ลักษณะการเกิดของเสียในการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มฉนวนไฟฟ้า ทราบได้จากการนับจำนวนและชั่งน้ำหนักของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งมีการตรวจสอบรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ก่อนทำการบรรจุ



(ก)



(ข)

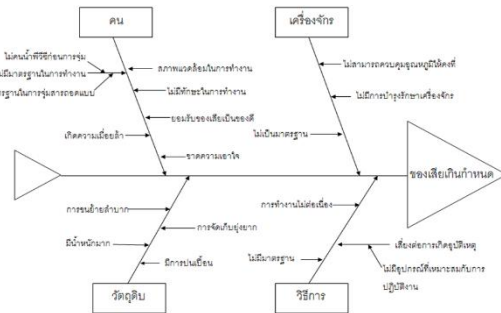


(ค)

ภาพที่ 4 ประเภทของเสียก) ลักษณะการเกิดฟองข)ลักษณะการเกิดลาย ค) ลักษณะชิ้นงานไม่สุก

วิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสีย

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มฉนวนไฟฟ้าโดยใช้แผนภูมิแก๊งปลาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจากการสอบถามกับพนักงานหัวหน้างานจากข้อมูลพบว่าปัญหาเกิดจากสาเหตุหลักสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทดังนี้



ภาพที่ 5 แสดงแผนภาพแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสีย

จากแผนภาพแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสียสามารถอธิบายสาเหตุหลัก 4 ประเภทและอธิบายสาเหตุย่อย

ตารางที่ 2 สาเหตุการเกิดของเสีย

ประเภท	สาเหตุ	คำอธิบาย
เครื่องจักร	ชิ้นงานไม่สุก และชิ้นงานไหม้	เกิดจากเครื่องจักรไม่เป็นมาตรฐาน อุณหภูมิในเตาอบไม่เสถียร และไม่มี การบำรุงรักษาเครื่องจักร
วิธีการทำงาน	ชิ้นงานเกิด ฟองและ ชิ้นงานเกิดลาย	เกิดจากวิธีการคนนำยพวีซีและ จำนวนครั้งในการจุ่มสารถอดแบบ โดยใช้ความรู้สึก ยังไม่มีการกำหนด มาตรฐานวิธีการทำงานให้พนักงาน ปฏิบัติอย่างชัดเจน
พนักงานประจำเครื่อง	ชิ้นงานไม่สุก ชิ้นงานไหม้ ชิ้นงานเกิด ฟองและ ชิ้นงานเกิดลาย	เกิดจากพนักงานไม่มีมาตรฐานใน การทำงาน ขาดความเอาใจใส่ ไม่มี ทักษะในการทำงาน บริเวณที่ ปฏิบัติงานมีสภาพแวดล้อมที่ไม่ เอื้ออำนวยต่อการปฏิบัติงาน และ พนักงานเกิดความเมื่อยล้า
วัตถุดิบ	เกิดสิ่งปนเปื้อนใน ชิ้นงาน	บริเวณที่ปฏิบัติงานไม่มีการทำความสะอาด

ผลการศึกษากระบวนการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณและมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุง			
ประเภทของเสีย	จำนวนของเสีย (Kg.)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)	มูลค่าของเสีย (บาท)*
ฟองอากาศ	3019	6.39	603,800
ลาย	2109	4.46	421,800
ไม่สุก	1456	3.08	291,200
ส่วนที่ตัดทิ้ง	1107	2.34	221,400
น้ำยาเป็นก้อน	991	2.10	198,200
ความหนาไม่ได้มาตรฐาน	788	1.67	157,600
รูปทรง	654	1.38	130,800
อื่นๆ	309	0.65	61,800
ยอดของเสียรวม	10,434	22.08	2,086,600
ยอดผลิตทั้งหมด (Kg.)		47,264	

* หมายเหตุ มูลค่าของเสีย = จำนวนของเสีย (Kg.) × 200 (ราคาขายต่อกิโลกรัม)

จากตารางที่ 2 แสดงปริมาณของเสีย และมูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลก่อนการดำเนินการแก้ไข มีค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนเท่ากับ 869 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 173,800 บาทต่อเดือน มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากการขึ้นงานที่ไม่ผ่านกระบวนการผลิตนั้นเกิดรอยตำหนิไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ สาเหตุหลักมาจากการเกิดฟองอากาศ ขึ้นงานเป็นลาย และขึ้นงานไม่สุก

ผลการศึกษาข้อมูลการผลิต วิเคราะห์ และระบุปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการมากที่สุดคือ การเกิดฟองอากาศ ขึ้นงานเป็นลาย และขึ้นงานไม่สุก

1 สาเหตุของปัญหาการเกิดฟองอากาศ

ในการหาสาเหตุของการเกิดฟองอากาศได้ใช้แผนผังกางปลาในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยดังนี้

ก. พิจารณาที่พนักงาน (Man) สาเหตุย่อยเกิดจาก

- พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน
- พนักงานขาดความรู้ในการใช้เครื่องจักร (ปั๊มลม)
- พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน
- พนักงานขาดความเอาใจใส่
- พนักงานขาดการฝึกอบรม

ข. พิจารณาที่วัตถุดิบ (Material) สาเหตุย่อย

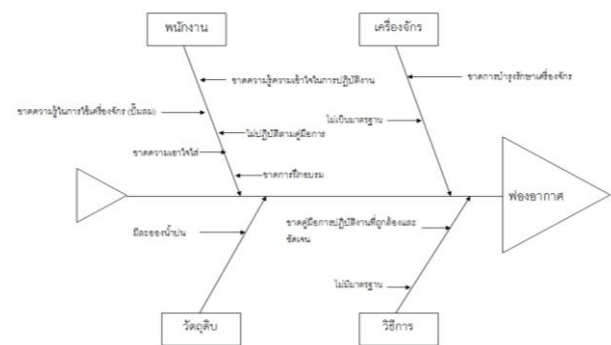
เกิดจาก

- มีละอองน้ำปนอยู่ในถาดน้ำยาฟิวส์ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสีย

ค. พิจารณาที่เครื่องจักร (Machine) สาเหตุย่อยเกิดจาก

- ขาดการบำรุงรักษาเครื่องจักร คือ ไม่มีการระบายน้ำออกจากปั๊มลม ทำให้มีน้ำเข้าไปผสมในกระบวนการที่ไม่ต้องการ

ง. พิจารณาที่วิธีการ (Method) สาเหตุย่อยเกิดจากการขาดคู่มือการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและชัดเจน



ภาพที่ 6 แสดงแผนภาพกางปลาวิเคราะห์สาเหตุการเกิดของเสีย

จากการพิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของเสียประเภทฟองอากาศที่ผิวชิ้นงานพบว่า มาจากการที่มีละอองน้ำที่มาจากลมที่ใช้ในการถอดชิ้นงานเข้าไปผสมกับน้ำยาฟิวส์ที่อยู่ในถาด ซึ่งพนักงานไม่มีความรู้เกี่ยวกับการใช้ปั๊มลมที่ถูกต้อง ไม่มีการบำรุงรักษาปั๊มลมให้ถูกวิธี ทำให้น้ำที่ต้องถ่ายออกจากปั๊มลมปนเข้าไปในระบบ เข้าไปผสมกับน้ำยาฟิวส์จนทำให้เกิดของเสียในที่สุด อีกทั้งหัวหน้างานยังไม่รู้สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ทำให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้



ภาพที่ 7 แสดงละอองน้ำที่ออกมาจากปั๊มลม

2 สาเหตุของปัญหาการเกิดลาย

ในการหาสาเหตุของการเกิดลายได้ใช้แผนผังกางปลาในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยดังนี้

ก. พิจารณาที่พนักงาน (Man) สาเหตุย่อยเกิดจาก

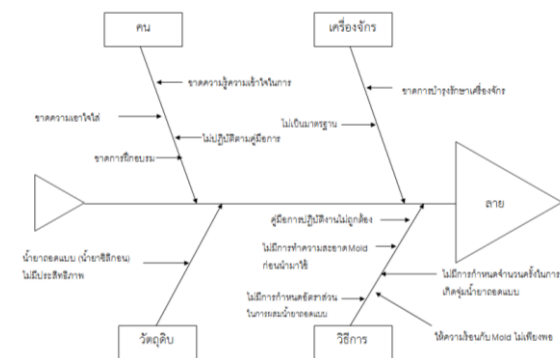
- พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน

- พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน
- พนักงานขาดความเอาใจใส่
- พนักงานขาดการฝึกอบรม
- พนักงานปฏิบัติด้วยความเร่งรีบ

ข. พิจารณาที่วัตถุดิบ (Material) สาเหตุย่อยเกิดจาก
น้ำยาถอดแบบ (น้ำยาซิลิกอน) ไม่มีประสิทธิภาพ เพราะมี
การผสมน้ำเปล่ามากเกินไป

ค. พิจารณาที่เครื่องจักร (Machine) สาเหตุย่อยเกิด
จากการขาดการบำรุงรักษาเครื่องจักร

- ง. พิจารณาที่วิธีการ (Method) สาเหตุย่อยเกิดจาก
- คู่มือการปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน
และมีความคลุมเครือ
 - ไม่มีการกำหนดจำนวนครั้งในการเกิดจุ่ม
น้ำยาถอดแบบ (น้ำยาซิลิกอน)
 - ไม่มีการกำหนดอัตราส่วนในการผสม
น้ำยาถอดแบบ (น้ำยาซิลิกอน)
 - ไม่มีการทำความสะอาดโมลก่อนนำมาใช้
 - ให้ความร้อนกับโมลไม่เพียงพอ



ภาพที่ 8 ผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดลายที่
ผิวชิ้นงาน

จากการพิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของเสีย
ประเภทลายที่ผิวชิ้นงานพบว่ามาจากการที่ไม่สามารถถอด
ชิ้นงานของออกจากโมลได้ง่าย มีสาเหตุมาจากไม่มีการทำ
ความสะอาดโมลก่อนนำมาใช้งาน ทำให้มีเศษฝุ่นละอองติด
อยู่ที่โมล มีการให้ความร้อนแก่โมลไม่เพียงพอ เพราะต้องใช้
เวลานานในการอบโมลบางครั้งพนักงานปฏิบัติด้วยความเร่ง
รีบ เมื่อถอดชิ้นงานจึงทำได้ยาก ไม่มีการกำหนดอัตราส่วนใน
การผสมน้ำยาถอดแบบ (น้ำยาซิลิกอน) มีน้ำเปล่าผสมมาก
เกินไป ทำให้น้ำยาถอดแบบไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร และ
ไม่มีการกำหนดจำนวนครั้งในการจุ่มน้ำยาถอดแบบ (น้ำยา
ซิลิกอน) พนักงานใช้ความรู้สึกในการปฏิบัติงาน คือ เมื่อเริ่ม
รู้สึกว่าถอดชิ้นงานยาก หรือ เกิดของเสียแล้ว จึงจะทำการ
จุ่มอีกครั้ง สาเหตุทั้งหมดจึงทำให้เกิดลายหรือลักษณะ
ผิวชิ้นงานไม่เรียบ

3 สาเหตุของปัญหาการเกิดขึ้นงานไม่สุก

ในการหาสาเหตุของการเกิดขึ้นงานไม่สุกได้ใช้แผนผัง
ก้างปลาในการวิเคราะห์ โดยพิจารณาจากสาเหตุหลักและ
สาเหตุย่อยดังนี้

ก. พิจารณาที่พนักงาน (Man) สาเหตุย่อยเกิดจาก

- พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน
- พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน
- พนักงานขาดความเอาใจใส่
- พนักงานขาดการฝึกอบรม
- พนักงานปฏิบัติด้วยความเร่งรีบ

ข. พิจารณาที่วัตถุดิบ (Material) สาเหตุย่อยเกิดจาก

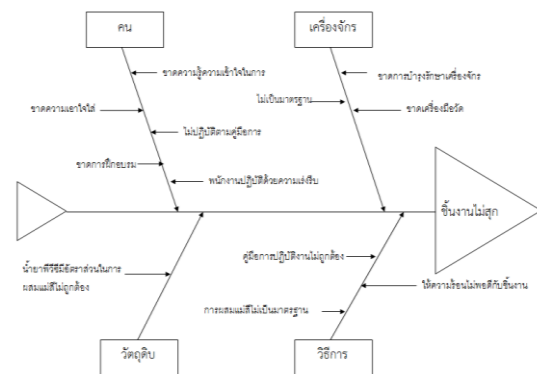
- น้ำยาพิริซีมีอัตราส่วนในการผสมแม่สีไม่ถูกต้อง

ค. พิจารณาที่เครื่องจักร (Machine) สาเหตุย่อยเกิด
จาก

- ขาดการบำรุงรักษาเครื่องจักร
- ขาดเครื่องมือวัด

ง. พิจารณาที่วิธีการ (Method) สาเหตุย่อยเกิดจาก

- คู่มือการปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน
และมีความคลุมเครือ
- การผสมแม่สีไม่เป็นมาตรฐานไม่ตรงตาม
อัตราส่วน
- ให้ความร้อนไม่พอดีกับชิ้นงาน



ภาพที่ 9 ผังก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาการเกิดขึ้นงาน
ไม่สุก

จากการพิจารณาหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาของเสีย
ประเภทชิ้นงานไม่สุกพบว่ามาจากการที่น้ำยาพิริซีมี
อัตราส่วนของแม่สีมากเกินไปที่สูตรกำหนด ส่งผลให้ชิ้นงานไม่
แข็งตัวหรือชิ้นงานไม่สุกในการอบ มีสาเหตุมาจากการที่
พนักงานไม่ปฏิบัติตามสูตรการผสมแม่สี พนักงานที่มีหน้าที่
ผสมแม่สีไม่เข้าใจถึงผลกระทบที่ตามมาของการเกิดของเสีย
ละเลยและขาดความเอาใจใส่ ทำให้พนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่
ในกระบวนการจุ่มชิ้นงานเพิ่มความร้อนให้แก่ชิ้นงานมากขึ้น

เพื่อให้ชิ้นงานสูง จนบางครั้งอาจให้เกิดของเสียประเภทอื่น
เช่น ชิ้นงานไหม้

ผลการศึกษาข้อมูลเพื่อหาสาเหตุของปัญหาและแนว
ทางการแก้ไขปัญหา

จากการใช้แผนผังก้างปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุ
หลักในการเกิดปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตสามารถ
สรุปดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 4 แสดงสาเหตุที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

กระบวนการ	ลักษณะของเสีย	สาเหตุที่เกิดขึ้น
การผสมวัตถุดิบ	ชิ้นงานเกิด ฟองอากาศ	-พนักงานขาดความรู้ ความเข้าใจในการ ปฏิบัติงาน -พนักงานขาดความรู้ใน การใช้ปั๊มลม -พนักงานไม่ปฏิบัติตาม คู่มือการปฏิบัติงาน -พนักงานขาดความเอาใจ ใส่ -พนักงานขาดการ ฝึกอบรม -มีละอองน้ำปนอยู่กับ น้ำยาพีวีซี -ขาดการบำรุงรักษา เครื่องจักร -ขาดคู่มือการปฏิบัติงานที่ ถูกต้องและชัดเจน -พนักงานขาดความรู้ ความเข้าใจในการ ปฏิบัติงาน -พนักงานไม่ปฏิบัติตาม คู่มือการปฏิบัติงาน -พนักงานขาดความเอาใจ ใส่ -พนักงานขาดการ ฝึกอบรม -พนักงานปฏิบัติด้วย ความเร่งรีบ -น้ำยาถอดแบบ (น้ำยา ซิลิกอน) ไม่มี ประสิทธิภาพ -ขาดการบำรุงรักษา เครื่องจักร -ไม่เป็นมาตรฐาน -คู่มือการปฏิบัติงานไม่ ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และม ีความคลุมเครือ -ไม่มีการกำหนดจำนวน ครั้งในการเกิดจุ่มน้ำยา
การจุ่มน้ำยาพีวีซี	ชิ้นงานเกิดลาย	

ถอดแบบ (น้ำยาซิลิกอน)
-ไม่มีการกำหนดอัตราส่วน
ในการผสมน้ำยาถอดแบบ
(น้ำยาซิลิกอน)
-ไม่มีการทำความสะอาด
โมลก่อนนำมาใช้
-ให้ความร้อนกับโมลไม่
เพียงพอ

ชิ้นงานไม่สูง

-พนักงานขาดความรู้ความ
เข้าใจในการปฏิบัติงาน
-พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือ
การปฏิบัติงาน
-พนักงานขาดความเอาใจใส่
-พนักงานขาดการฝึกอบรม
-พนักงานปฏิบัติด้วยความเร่ง
รีบ
-น้ำยาพีวีซีมีอัตราส่วนในการ
ผสมแม่สีไม่ถูกต้อง
-ขาดการบำรุงรักษา
เครื่องจักร
-ไม่เป็นมาตรฐาน
-ขาดเครื่องมือวัด
-คู่มือการปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง
ไม่ชัดเจน และมีความ
คลุมเครือ
-การผสมแม่สีไม่เป็น
มาตรฐานไม่ตรงตาม
อัตราส่วน
-ให้ความร้อนไม่พอติดกับ
ชิ้นงาน

แนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

สำหรับในกระบวนการผลิตบล็อกพีวีซีหุ้มขั้วสายฟ้า
พบว่าลักษณะข้อบกพร่องหรือของเสียที่เกิดขึ้นใน
กระบวนการมีปัญหาลักษณะ 3 ประการ การเกิดฟองอากาศ
ชิ้นงานเป็นลาย และชิ้นงานไม่สูงโดยมีวิธีการปรับปรุงปัญหา
ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1 การปรับปรุงปัญหาของเสียประเภทฟองอากาศที่
ผิวชิ้นงาน

สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงแก้ไข สำหรับ
ปัญหาการเกิดฟองอากาศที่ผิวชิ้นงานนั้นเกิดจากสาเหตุที่
สำคัญ 3 ประการ คือ พนักงานขาดความรู้เกี่ยวกับการใช้ปั๊ม
ลมไม่มีการบำรุงรักษา และขาดคู่มือการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง
และชัดเจน

1.1 สาเหตุพนักงานขาดความรู้เกี่ยวกับการใช้ปั๊ม
ลม

เนื่องจากพนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการ

ใช้เครื่องจักร จึงทำให้มีการใช้งานเครื่องจักรอย่างผิดวิธีส่งผล
ให้เกิดของเสีย

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุพนักงาน
ขาดความรู้เกี่ยวกับการใช้ปั๊มลม

1) หัวหน้างานหมั่นตรวจสอบ และให้คำแนะนำ
สม่ำเสมอ

2) ทำการฝึกอบรมพนักงานในส่วนพนักงานจริง และ
ฝึกอบรมถึงลักษณะการใช้ปั๊มลมและการทำงานที่ถูกต้อง

3) ปรับปรุงและเพิ่มเติมคู่มือการปฏิบัติงานเดิมเพิ่ม ทำ
ให้มีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

1.2 สาเหตุไม่มีการบำรุงรักษาปั๊มลม

เนื่องจากพนักงานขาดความเอาใจใส่ในการดูแล
บำรุงรักษาปั๊มลมให้พร้อมใช้งานเสมอ

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุไม่มีการ
บำรุงรักษาเครื่องจักร

1) หัวหน้างานให้คำแนะนำและบอกถึงข้อดีในการ
บำรุงรักษาเครื่องจักร

1.3 สาเหตุขาดคู่มือการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและชัดเจน

เนื่องจากขาดคู่มือการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและชัดเจน

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุการขาดคู่มือ
การปฏิบัติงานที่ถูกต้องและชัดเจน

1) จัดทำคู่มือการบำรุงรักษาปั๊มลม

2 การปรับปรุงปัญหาของเสียประเภทการเกิดลายที่
ชิ้นงาน

สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงแก้ไข สำหรับปัญหาการ
เกิดลายที่ผิวชิ้นงานนั้นเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ 3 ประการ
คือ พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงาน
พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงานและคู่มือการ
ปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และมีความคลุมเครือ

2.1 สาเหตุพนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการ
ปฏิบัติงานและคู่มือการปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และม
ีความคลุมเครือ

พนักงานขาดความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานและไม่
ตระหนักถึงข้อดีในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ซึ่งเกิด
จากการไม่เข้าใจขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่ชัดเจน ซึ่งส่งผล
ให้เกิดของเสียในระหว่างการผลิตได้

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุพนักงานขาด
ความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานและคู่มือการปฏิบัติงาน
ไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และมีความคลุมเครือ

1) ปรับปรุงหรือเพิ่มเติมคู่มือปฏิบัติงานเดิมให้เข้าใจ
ง่าย และครอบคลุมลักษณะการทำงานมากขึ้น ตัวอย่างคู่มือ
ปฏิบัติงานหลังการปรับปรุงแสดงดังภาคผนวก ข

2) หัวหน้างานหมั่นตรวจสอบ และให้คำแนะนำ

สม่ำเสมอ

3) จัดทำคู่มือการเตรียมแม่พิมพ์และเครื่องจักร แสดง
ดังภาคผนวก ข

2.2 สาเหตุพนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการ
ปฏิบัติงาน

เกิดจากการที่พนักงานขาดความเอาใจใส่หรือ
ละเลยการทำงานในบางขั้นตอน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดของเสีย
ขึ้น

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุพนักงาน
ไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน

1) หัวหน้างานให้คำแนะนำและบอกถึงข้อดีในการ
ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงานชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของ
การปฏิบัติงานที่ถูกต้อง

2) หัวหน้างานหมั่นตรวจสอบดูแลการปฏิบัติงานของ
พนักงาน

3 การปรับปรุงปัญหาของเสียประเภทชิ้นงานไม่สุก

สภาพปัญหาก่อนการปรับปรุงแก้ไข สำหรับปัญหา
ชิ้นงานไม่สุกนั้นเกิดจากสาเหตุที่สำคัญ 3 ประการ คือ
พนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานพนักงานไม่
ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงานและคู่มือการปฏิบัติงานไม่
ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และมีความคลุมเครือ

3.1 สาเหตุพนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการ
ปฏิบัติงานและคู่มือการปฏิบัติงานไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และม
ีความคลุมเครือ

พนักงานขาดความเข้าใจในขั้นตอนการทำงานและไม่
ตระหนักถึงข้อดีในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ซึ่งเกิด
จากการไม่เข้าใจขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่ชัดเจน ซึ่งส่งผล
ให้เกิดของเสียในระหว่างการผลิตได้

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุพนักงานขาด
ความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานและคู่มือการปฏิบัติงาน
ไม่ถูกต้อง ไม่ชัดเจน และมีความคลุมเครือ

1) ปรับปรุงหรือเพิ่มเติมคู่มือปฏิบัติงานเดิมให้เข้าใจ
ง่าย และครอบคลุมลักษณะการทำงานมากขึ้น ตัวอย่างคู่มือ
ปฏิบัติงานหลังการปรับปรุงแสดงดังภาคผนวก ข

2) หัวหน้างานหมั่นตรวจสอบ และให้คำแนะนำ
สม่ำเสมอ

3.2 สาเหตุพนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน
เกิดจากการที่พนักงานขาดความเอาใจใส่หรือละเลย
การทำงานในบางขั้นตอน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดของเสียขึ้น

การแก้ไขปรับปรุงสำหรับปัญหาสาเหตุพนักงานไม่
ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน

1) หัวหน้างานให้คำแนะนำและบอกถึงข้อดีในการ
ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน

2) หัวหน้าหมั้นตรวจสอบดูแลการปฏิบัติงานของ
พนักงาน

3.ผลการวิจัย (Results)

หลังจากทำการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ
ผลิตพลาสติกพีวีซีหุ้มข้อสายไฟฟ้า โดยทำการวิเคราะห์หา
ปัญหาหลักที่ทำให้เกิดของเสียจากแผนภูมิพาเรโต และ
สามารถสรุปวิธีการปรับปรุงและลดของเสียพร้อมทั้งนำไป
ปฏิบัติแก้ไขในกระบวนการ ซึ่งผลจากการปรับปรุง เพิ่มเติม
และจัดทำคู่มือปฏิบัติงานให้เข้าใจได้ง่าย และครอบคลุมมาก
ยิ่งขึ้น ทำให้พนักงานปฏิบัติงานได้ถูกต้องตามขั้นตอน ซึ่งทำ
ให้ปริมาณของเสียจากการทำงานของพนักงานลดลง

ตารางที่ 5 ตารางแสดงข้อมูลปริมาณของเสียจากกระบวนการผลิต
พลาสติกพีวีซีหุ้มข้อสายไฟฟ้า หลังการปรับปรุง

ประเภทของเสีย	จำนวนของเสียหลังปรับปรุง (kg.)					
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รวม	เฉลี่ย	คิดเป็น เปอร์เซ็นต์*
จำนวนผลิตต่อเดือน	4683	4523	3998	13204	4401	100
ฟองอากาศ	235	186	156	577	192	4.37
สาย	164	137	116	417	139	3.16
ไม่สุก	107	97	79	283	94	2.14
ส่วนที่ตัดทิ้ง	97	92	74	263	88	1.99
น้ำยาเป็นก้อน	87	78	65	230	77	1.74
ความหนาไม่ได้ มาตรฐาน	76	68	62	206	69	1.56
รูปทรง	59	36	71	166	55	1.26
อื่นๆ	23	43	35	101	34	0.76
รวมของเสีย (kg.)	848	737	658	2243	748	16.99
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	18.1	16.2	16.4	16.9	16.9	16.99

ตารางที่ 6แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของเสียก่อนและหลังการ
ปรับปรุง

ชนิดของเสีย	เปอร์เซ็นต์ของเสีย		
	ก่อน	หลัง	ผล
ฟองอากาศที่ผิวชิ้นงาน	6.39	4.37	-2.02
ชิ้นงานเป็นลายหรือผิวงานไม่เรียบ	4.46	3.16	-1.30
ชิ้นงานไม่สุก	3.08	2.14	-0.94
ส่วนที่ตัดทิ้ง	2.34	2.00	-0.34
น้ำยาเป็นก้อน	2.10	1.76	-0.34
ชนิดของเสีย	เปอร์เซ็นต์ของเสีย		
	ก่อน	หลัง	ผล
ความหนาไม่ได้มาตรฐาน	1.67	1.68	0.01
รูปทรง	1.38	1.20	-0.18
อื่นๆ	0.65	0.73	0.08
ยอดรวมของเสีย	22.08	16.99	-5.09
ยอดผลิตทั้งหมด	47,264	13,204	

4. สรุปผล (Conclusion)

ผลการจากการดำเนินการปรับปรุง พบว่าเปอร์เซ็นต์
ของเสียในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกพีวีซีหุ้มข้อสายไฟฟ้าที่
ทำการศึกษา จากก่อนการปรับปรุงมีของเสีย 22.08% และ
หลังการปรับปรุงมีของเสีย 16.99% ซึ่งของเสียลดลงหลัง
การปรับปรุง 5.09% ซึ่งทำให้มูลค่าของเสียลดลง 24,267
บาทต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 291,204 บาทต่อปี

5.อภิปรายผล

มาตรฐานในการปฏิบัติงานเป็นแนวทางในการลดของ
เสียจากกระบวนการ ดังนั้นคู่มือปฏิบัติงานที่ได้มานั้น
จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน).
(2553). คู่มือการใช้งานพีวีซีเรซิน. เข้าถึง เมื่อ 12
กันยายน 2557. เข้าถึงได้จาก
<http://www.thaiplastic.co.th/TPC/Upload/Product/Resin/>
- [2] YTC America Inc. (2008). การจุ่มเคลือบ. เข้าถึง
เมื่อ 1 ตุลาคม 2557. เข้าถึงได้จาก
<http://www.ytca.com/>

การปรับปรุงการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่น Improvement of Energy Saving in Annealing Process of Rolled Coil Steel Sheet

สิทธิพงษ์ เชื้อดวงขาว¹, ปริญญ์ บุญนิษฐ²

¹บริษัท ชูโกโระ (ประเทศไทย) จำกัด

sittipong@chugairo.co.th

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

prin.b@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของหัวเผาเตาอบอ่อน (Batch annealing furnace) โดยทำการทดลองกับหัวเผาไหม้ (Heating cover) ที่มีหัวเผาทั้งหมด 10 ชุด เพื่อหาค่าระดับออกซิเจนที่เหมาะสม โดยการวิจัยเริ่มจากเก็บข้อมูลก่อนเริ่มการวิจัยพบว่าค่าการเผาไหม้นั้นมี ร้อยละของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ หลังจากนั้นจึงได้ทำการปรับปรุงใช้เทคโนโลยีการเผาไหม้ใหม่ด้วยเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมและปรับแต่งหัวเผาไหม้ใหม่ ทั้งหมด 5 ระดับคือ 23%, 40%, 50%, 75% และ 100% แล้วทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่ง วิเคราะห์เปรียบเทียบดูว่ามีปัจจัยได้ส่งผลต่อคุณภาพของเหล็กแผ่นหรือไม่อย่างไร ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยพบว่าหลังจากปรับปรุงแล้วทำให้ค่าการเผาไหม้ดีและได้ค่าระดับร้อยละของออกซิเจนใกล้เคียงกับมาตรฐานมากขึ้น ส่งผลทำให้ลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของเตาอบในกระบวนการอบอ่อนได้ดีขึ้น โดยค่าพารามิเตอร์ที่ทำการปรับแต่งใหม่นี้จะถูกนำไปเป็นค่าอ้างอิงในคู่มือการดำเนินงานสำหรับวิศวกรในการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของหัวเผาไหม้ของกระบวนการอบอ่อนในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : การอบ-ชุบ; เตาอบอ่อน; การปรับแต่งค่าการเผาไหม้; โปรแกรมคอนโทรลเลอร์

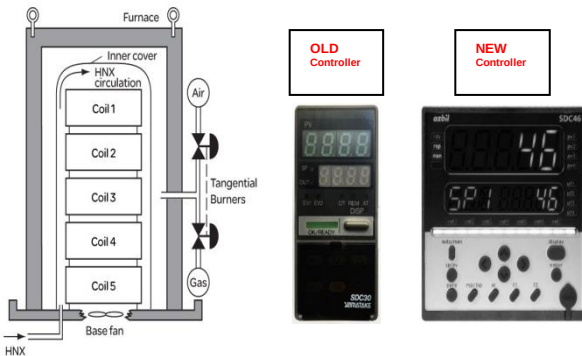
Abstract

The objective of this research is to study the level of burner combustion by adjustment batch annealing furnace. The experimenting has been performed with 10 sets of heating cover to find for the suitable oxygen level. The data collection before starting research has been found that, the burning adjustment by changing combustion technology with 5 levels are 23%, 40%, 50%, 75% and 100% depicts that after improvement, the combustion value and the percentage of oxygen level are improved to the better standard resulting and it can reduce energy consumption and improved oven efficiency in the annealing process. The modified parameters will be used to be the new reference standard values in the operation manual for further engineers' operational.

Keywords: Heat Treatment; Annealing furnace; Combustion adjustment; Program controller

1. บทนำ (Introduction)

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นที่ผ่านการขึ้นรูปเย็นมักจะมี
ความเครียดหรือความเค้นที่เกิดจากการถูกอัดถูกบีบค้ำอยู่
บางส่วนทำให้มีความแข็งแรงไม่สม่ำเสมอสูญเสียความ
เหนียวไปทำให้ต้องมีกระบวนการอบอ่อนที่มีประสิทธิภาพไว้
สำหรับปรับปรุงสมบัติของเหล็กแผ่นให้มีความแข็งแรง
สม่ำเสมอและไม่สูญเสียความเหนียวไป ด้วยเหตุนี้ทำให้
โรงงานต่างๆต้องทำการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการอบ
อ่อนให้ดียิ่งขึ้น เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดควบคุมการจ่าย
เชื้อเพลิงของวาล์วแก๊สให้ทันสมัยและมีเทคโนโลยีในการ
ควบคุมการเผาไหม้ที่ดีและแม่นยำมากยิ่งขึ้น เป็นต้น ดังที่
แสดงตัวอย่างในภาพที่ 1 เพราะหากประสิทธิภาพการเผา
ไหม้ของหัวเผาต่ออัตราส่วนของแก๊สกับอากาศไม่พอดีกันจะ
ทำให้เกิดก๊าซมลพิษและเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการ
สูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงมากเกินไป [1]



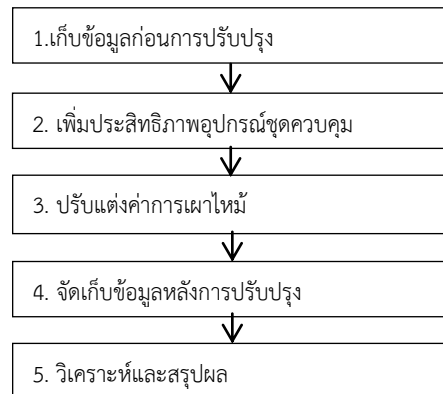
ภาพที่ 1 แสดงเตาอบอ่อนแบบ Batch annealing furnace
และอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงแบบเก่าและแบบใหม่
ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงการใช้พลังงานใน
กระบวนการอบอ่อนนี้ มีอยู่อย่างกว้างขวางเช่น งานวิจัยของ
เรืองยศและสมชาย [2] ภัทรภรณ์, ชูตินาถและนิติมา [4]
สุวิทย์และปารเมศ [5] เป็นต้น อย่างไรก็ตามประเด็นสำคัญ
มากในการปรับปรุงกระบวนการอบอ่อนคือ การกำหนด
ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบและเวลาที่ใช้ในการอบ
(Annealing time) ที่ดี เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่อ
อัตราการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของเตาอบอ่อน ประสิทธิภาพการ
ใช้พลังงาน และค่าสมบัติเชิงกลของแผ่นขึ้นงานที่ได้รับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจุดประสงค์เพื่อศึกษาระดับการ
ปรับแต่งค่าการเผาไหม้ของหัวเผาเตาอบ (Batch annealing
furnace) ในกระบวนการอบอ่อนเหล็กแผ่นและทำให้ช่วยลด
การใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของเตาอบใน
กระบวนการอบอ่อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น อันจะทำให้

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดย
ขั้นตอนการทำงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ศึกษาบทความและการจัดเก็บข้อมูลของกระบวนการอบ
อ่อนเหล็กแผ่นภายในโรงงานและดำเนินการวิจัยโดยก่อน
การดำเนินการวิจัยโดยมีแผนดำเนินงานดังนี้



ภาพที่ 2 แผนผังการดำเนินงาน

2.1 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงจะดำเนินการเก็บ
ข้อมูลของเตาอบอ่อนทั้งค่าอากาศอัตราการเผาไหม้อัตรา
การไหลของลมกับเชื้อเพลิงร้อนไชและสภาพแวดล้อม
โดยรวมของเตาโดยมีวิธีการเก็บค่าอัตราการไหลของลมและ
แก๊สและค่าออกซิเจนดังนี้ ทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการ
ไหลของลมกับแก๊สและตรวจวัดค่าออกซิเจนภายในเตา วัด
แรงดันของลมและเชื้อเพลิงที่หัวเผา



ภาพที่ 3 แสดงการจัดเก็บข้อมูลแรงดันและอัตราการไหล
ของลมและเชื้อเพลิงและค่าออกซิเจนจากการเผาไหม้

2.2 การปรับเปลี่ยนชุดควบคุมอัตราการไหลของวาล์ว
เชื้อเพลิงจากชุดควบคุมจากโมเดลเดิมเป็นรุ่นใหม่ที่สามารถ
เปลี่ยนค่าที่ถูกส่งมายังอุปกรณ์โดยตรงและสามารถลดการใช้
พลังงานลงได้ดีกว่าชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบเดิม



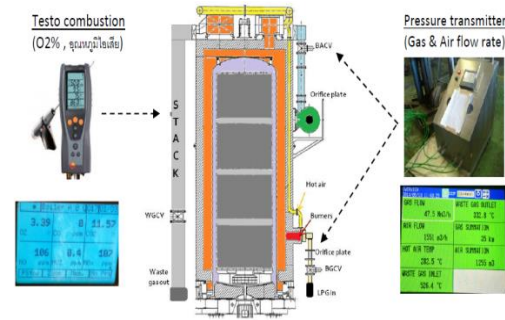
ภาพที่ 4 แสดงการเปลี่ยนชุดควบคุมอัตราการไหลของวาล์ว
เชื้อเพลิงจากชุดควบคุมจากโมเดลเดิมเป็นรุ่นใหม่

2.3 จากนั้นทำการปรับแต่งค่าการเผาไหม้โดยเริ่มจาก
การเพิ่มความร้อนภายในเตาอบอ่อนโดยการควบคุมอุณหภูมิ
MV% จะถูกส่งสัญญาณมาจากระบบควบคุมแบบ DCS
(Distributed control system) ที่แต่ละ MV%
(Manipulated Variable หรือสัญญาณควบคุมที่เครื่อง
ควบคุมคำนวณได้มีหน่วยเป็น % (0-100%) เรียงลำดับโดย
เริ่มจาก 23%, 40%, 50%, 75%, 100% ตามลำดับโดย
ระบบ DCS จะคอยทำการควบคุมอุณหภูมิภายในเตาจากนั้น
ทำการปรับค่าการเปิด-ปิดของวาล์วเชื้อเพลิงและอากาศ
สำหรับการเผาไหม้โดยปรับให้ได้ค่าการเปิดที่ 100% ของ
MV% และเช็คอัตราการไหลไปด้วยจากนั้นปรับแต่งโดยการ
ปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของชุดควบคุมการจ่ายวาล์ว
เชื้อเพลิงให้ได้ค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยจะวัดค่าจาก %
ออกซิเจน



ภาพที่ 5 แสดงการเปลี่ยนชุดควบคุมอัตราการไหลของวาล์ว
เชื้อเพลิงจากชุดควบคุมจากโมเดลเดิมเป็นรุ่นใหม่

2.4 การเก็บค่าอัตราการไหลของลมและแก๊สและค่า
ออกซิเจนโดยทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลของลมและ
แก๊ส วัดแรงดันของเชื้อเพลิงและลมที่หัวเผาของเตาอบอ่อน



ภาพที่ 6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดสำหรับจัดเก็บ
ข้อมูลอัตราการไหลของลมและเชื้อเพลิงและค่าออกซิเจน
จากการเผาไหม้

2.5 วิเคราะห์และสรุปผลโดยนำผลที่ได้จากการเก็บ
ข้อมูลนำมาเปรียบเทียบกับค่าก่อนและหลังจากการดำเนิน
ปรับปรุงการใช้พลังงานโดยจะอ้างอิงที่ค่าออกซิเจนเป็นหลัก
โดยจะตั้งสมมติฐานโดยใช้การทดสอบค่าเฉลี่ยและความ
แปรปรวนของข้อมูลผลการตรวจวัด (T test, F test) มี
สมการ ดังนี้

T test : การทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุงค่า %
ออกซิเจนโดยใช้ค่าแจกแจง T test แบบ dependent
samples โดยที่

$$t = \frac{\Sigma D}{\sqrt{\frac{N \Sigma D^2 - (\Sigma D)^2}{N-1}}}; df = n - 1$$

$$(1) \quad F \text{ test} : F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2)$$

โดยที่

$$S_1^2 > S_2^2 \text{ และ } df_1 = n_1 - 1 \text{ และ } df_2 = n_2 - 1$$

ในส่วนของการวัดปริมาณอากาศในห้องเผาไหม้ส่วนผสมของ
อากาศและเชื้อเพลิงที่อยู่บริเวณหัวเผาจะถูกควบคุมยังเครื่อง
วิเคราะห์แก๊สไอเสียเพื่อวัดหาปริมาณอากาศในส่วนแรก
(PA) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2) ดังนี้

$$PA = \frac{\%O_2}{(A/F) \times (21 - \%O_2)} \times 100$$

(3)

เมื่อ **PA** คือปริมาณอากาศส่วนแรกที่ใช้การเผาไหม้ (%)
(A/F) คือปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี
% O₂ คือปริมาณออกซิเจนที่วัดได้ (%)

Item		Combustion rate			
TIC (DCS)	MV [%]	75%		100%	
	x10 ⁴ kcal/h	100.8		130.3	
Fluid type		Gas	Air	Gas	Air
Control valve	MV (DCS) [%]	62.9	72.9	9.99	99.6
	Feed back [%]	39.0	72.5	100.0	99.6
Flow rate	ΔP [Pa]				
	[m3/h]	40.30	1,330	52.10	1615
Furnace pressure	Pres.control valve [%]	32.8		42.0	
	Furnace pressure [Pa]	0		0	
Air ratio [-]	Flow rate ratio	1.20		1.13	
	O2 reference	1.11		1.08	
Pressure	Supply [kPa]	17.5	7.2	17.5	6.6
	Ring header [kPa]	3.4	2.94	5.1	4.21
	#1Bumer [Pa]	2.90	1.80	4.48	2.73
	#2Bumer [Pa]	2.91	1.81	4.57	2.73
	#3Bumer [Pa]	2.92	1.80	4.57	2.58
	#4Bumer [Pa]	2.91	1.81	4.57	2.74
	#5Bumer [Pa]	2.90	1.84	4.55	2.75
	#6Bumer [Pa]	2.93	1.84	4.55	2.73
	#7Bumer [Pa]	2.92	1.95	4.55	2.74
	#8Bumer [Pa]	2.92	1.84	4.55	2.71
Temp. [°C]	Cover TC (TC-1)	826 - 831		790 - 828	
	Base TC (TC-2)	674 - 687		630 - 662	
	Hot air (Front of burner)	226		218	
	Waste gas	59		56	
Exhaust gas	O2 [%]	2		1.5	
	CO [ppm]	3.4		4.2	
	NOx (Net) [ppm]	10		10	
	NOx (2%O2) [ppm]				
Remark	NOx (11%O2) [ppm]				
		Automatic control (Hold) <Cut-off MV value>		Automatic control (Hold)	
Theoretical air volume: 27.49m3N/m3N					
Low heating value: 25037kcal/m3N					
Opening of the dilution valve above the WGCV is about 10% open.					
Atmosphere of Inner cover: Nitrogen 100%					

ภาพที่ 7 แสดงตารางข้อมูลอ้างอิงเพื่อหาค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ภายในเตาอบอ่อน

การปรับปรุงกระบวนการอบอ่อนนี้จะแบ่งการเก็บค่าออกซิเจนเป็น 2 ช่วงคือ 1. ช่วงก่อนการเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายแก๊ส และ 2. ช่วงหลังการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมโดยการปรับแต่งค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้นั้นจากการวิจัยนี้จะวิเคราะห์ (MV%) การเพิ่มขึ้นของความร้อนที่รับสัญญาณควบคุมมาจาก DCS (Distributed control system) ในระดับที่ 75 % และ 100 % (เป็นระดับ % การเพิ่มขึ้นของความร้อนภายในเตาที่มีปริมาณการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุด) ดังที่แสดงในตารางภาพที่4 แสดงตารางข้อมูลอ้างอิงเพื่อหาค่าการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ภายในเตาอบอ่อนโดยค่าการปรับแต่งการเผาไหม้ที่ดีที่สุดจะอ้างอิงมาจาก % ออกซิเจนต้องอยู่ระหว่าง 1.5-2.5% ในช่วงMV50-100% (ควบคุมมาจากDCS) หลังจากนั้นนำค่าจากกว่าทดลองทั้งสองช่วงมาทำการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างความแปรปรวนของค่า % ออกซิเจนทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงโดยตั้งสมมติฐาน T test, F test ดังต่อไปนี้

n (MV%)	% O ₂ ก่อนการปรับปรุง	% O ₂ หลังการปรับปรุง	D	D ²
1.(23.1%)	1.0	3.9	2.9	8.41
2.(40%)	1.5	3.4	1.9	3.61
3.(50%)	1.0	3.4	2.4	5.76
4.(75%)	0.5	2	1.5	2.25
5.(100%)	0.5	1.5	1.0	1
ผลรวม	4.5	14.2	ΣD=9.7	ΣD ² =21.03
ค่าเฉลี่ย	0.9	2.84		

จากตารางค่า % ออกซิเจน ตั้งสมมติฐานจะได้ดังนี้

$T = T_{test}$ กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

$$H_0 : \mu_{post} = \mu_{pre}$$

$$H_1 : \mu_{post} > \mu_{pre}$$

จากตารางจะได้ค่าดังนี้

$$t = \frac{9.7}{\sqrt{\frac{5(21.03) - (9.7)^2}{5-1}}} = \frac{9.7}{\sqrt{\frac{105.15 - 94.09}{4}}}$$

$$t = \frac{9.7}{\sqrt{\frac{11.06}{4}}} = \frac{9.7}{\sqrt{2.765}} = \frac{9.7}{1.66}$$

$$t = 5.84$$

เนื่องจาก $t_{\text{คำนวณ}} = 5.84 > t_{\text{ตาราง}} = 2.13$ ดังนั้นจึงปฏิเสธ H_0
ยอมรับ H_1 นั่นคือหลังจากเปลี่ยนอุปกรณ์มีผลกับค่า %
ออกซิเจนที่ดีกว่าได้อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

F = F test

$$H_0 = \mu_0 = \mu_1$$

$$H_1 = \mu_0 \leq \mu_1$$

จากตารางจะได้ค่าดังนี้

หา SD_1

$$\frac{(1.0-0.9)^2 + (1.5-0.9)^2 + (1.0-0.9)^2 + (0.5-0.9)^2 + (0.5-0.9)^2}{(n-1)(5-1)=4}$$

$$S_1^2 = 0.175$$

$$\frac{(3.9-2.84)^2 + (3.4-2.84)^2 + (3.4-2.84)^2 + (2-2.84)^2 + (1.5-2.84)^2}{(n-1)(5-1)=4}$$

$$S_2^2 = 4.31$$

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} = F = \frac{(0.175)^2}{(4.31)^2} = 0.00165$$

$$df1 = 5 - 1 = 4$$

$$df2 = 5 - 1 = 4$$

หาค่า **F - critical** จากตาราง **F**

โดยมีข้อมูลคือ $\alpha = 0.05$, $df1 = 4$, $df2 = 4$

F critical = 2.13

สรุปสมมติฐาน โดยเทียบ F ที่คำนวณได้กับ F-Critical ที่ได้
จากตาราง โดยถ้า $F > F\text{-critical}$ ให้ปฏิเสธ H_0 ตัวอย่างนี้
เราได้ $F < F\text{-critical}$ จึงสรุปว่าเรายอมรับ H_0 นั่นคือ
 $(\sigma_1)^2$ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

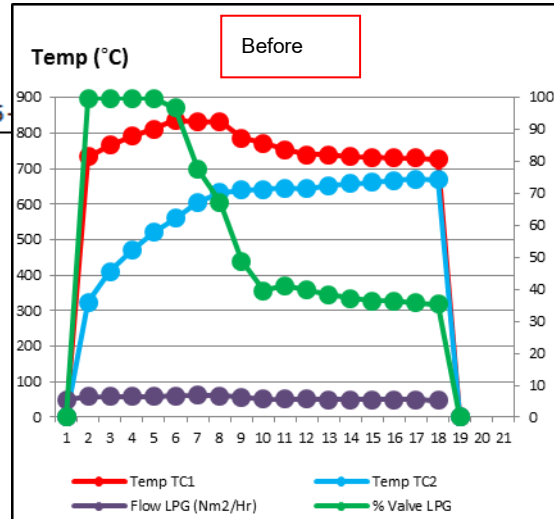
3. ผลการวิจัย (Results)

ความแตกต่างระหว่างค่าของผลการทดลองทั้งก่อนและ
หลังการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายแก๊สจะเห็นได้ว่ามี
ค่าที่บันทึกไว้หลังจากการเปลี่ยนอุปกรณ์ดีกว่าเพราะมีการ
ปรับแต่งค่าการเผาไหม้แล้วการเปลี่ยนอุปกรณ์ก็เป็นส่วน
สำคัญเพราะตัวอุปกรณ์เป็นรุ่นใหม่สามารถปรับแต่ง
ค่าพารามิเตอร์ได้

จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าการใช้เชื้อเพลิงที่น้อยลง
และกระบวนการอบอ่อนที่เร็วขึ้นจากปรกติลดลงประมาณ
1-2 ชม. เพราะการให้ความร้อนที่ดีขึ้นก็เป็นสาเหตุหนึ่งดัง
ภาพที่แสดงตั้งแต่รูปที่ 5 แสดงค่าการเปรียบเทียบการวัด %
ออกซิเจนในช่วงระหว่างก่อนและหลังการปรับแต่งค่าการเผา
ไหม้

จากการเก็บตัวอย่างค่าการเผาไหม้ก่อนการปรับปรุง
ประสิทธิภาพมีข้อมูลดังนี้

1. มีการชาร์จคอล์ย (เหล็กแผ่นม้วน) = 88.6 ตัน
2. ใช้เวลาในการอบอ่อน = 16.23 ชม.
3. อัตราการไหลของ LPG ที่ใช้ทั้งหมด = 788 Nm^3
4. อัตราการใช้ LPG ต่อเหล็ก 1 ตัน = $8.89 \text{ Nm}^3/\text{ตัน}$



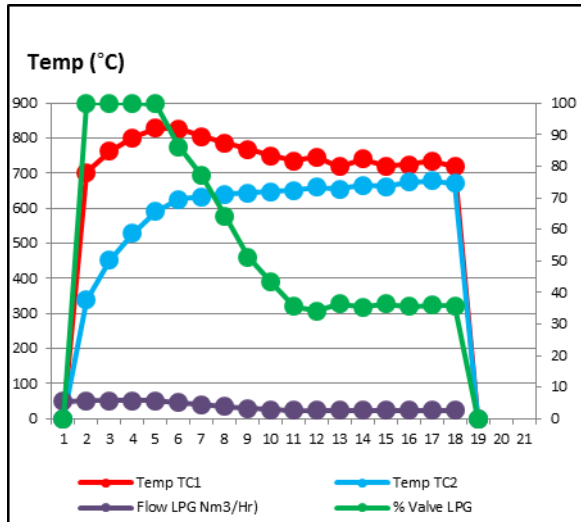
ภาพที่ 8 กราฟแสดงข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพ
ของเตาอบอ่อนเช่นอุณหภูมิภายในเตาอัตราการเปิดวาล์ว
และอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG

Hr.	Heating Cover (°C) Temp	Base (°C) Temp	Gas control valve %	LPG flow (Nm ³ /Hr.)	LPG sum. (Nm ³)
0	0	0	0	0	0
1	734.5	325.0	99.9	59.5	59.5
2	766.8	411.1	99.9	59.5	119.0
3	791.3	470.7	99.9	59.5	178.5
4	811.0	521.5	99.9	59.5	237.0
5	836.5	560.2	96.9	59.8	293.8
6	830.6	605.0	77.6	62.1	359.9
7	834.0	633.5	67.2	60.6	416.5
8	786.8	640.9	48.9	56.4	472.9
9	771.5	642.8	39.6	51.1	524.0
10	754.5	646.4	41.1	52.1	569.2
11	739.5	644.0	39.8	51.6	610.5
12	739.2	652.4	38.3	50.3	649.9
13	733.8	657.7	37.2	49.7	686.3
14	731.7	661.3	36.3	49.1	718.2
15	730.0	667.6	36.4	49.1	750.9
16	729.7	670.5	35.8	49.1	782.0
17	726.7	668.4	35.3	48.4	787.7
18	0	0	0	0	787.7

ภาพที่ 9 ตารางแสดงข้อมูลก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพ
ของเตาอบอ่อนเช่นอุณหภูมิภายในเตาอัตราการเปิดวาล์ว
และอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG

จากการเก็บตัวอย่างค่าการเผาไหม้หลังการปรับปรุง
ประสิทธิภาพมีข้อมูลดังนี้

1. มีการชาร์จคอยล์ (เหล็กแผ่นม้วน) = 88.5 ตัน
2. ใช้เวลาในการอบอ่อน = 16.37 ชม.
3. อัตราการไหลของ LPG ที่ใช้ทั้งหมด = 530 Nm^3
4. อัตราการใช้ LPG ต่อเหล็ก 1 ตัน = $5.99 \text{ Nm}^3/\text{ตัน}$

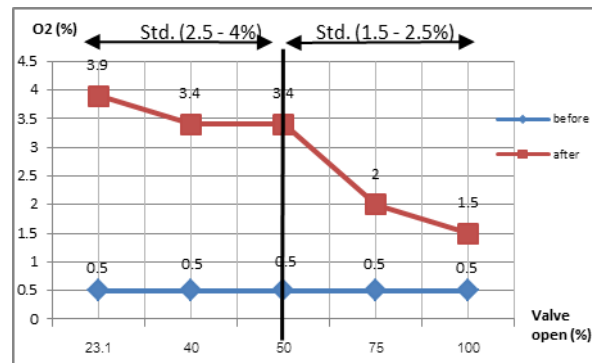


ภาพที่ 10 กราฟแสดง **After** การปรับปรุงประสิทธิภาพ
ของเตาอบอ่อนเช่นอุณหภูมิภายในเตาอัตราการเปิดวาล์ว
และอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG

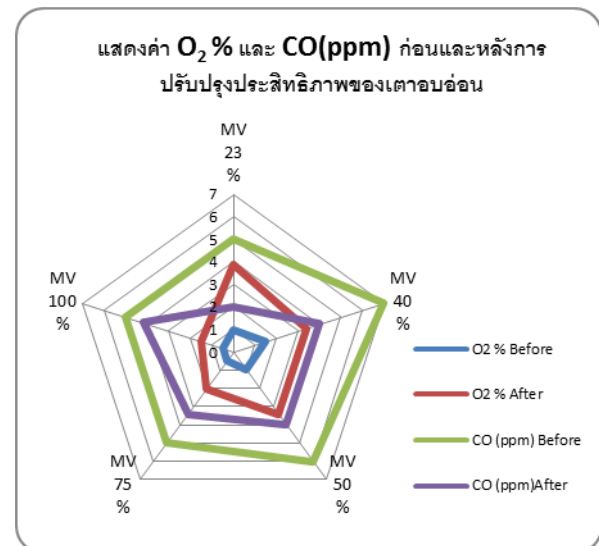
Hr.	Heating Cover (°C) Temp	Base (°C) Temp	Gas control valve %	LPG flow (Nm ³ /Hr.)	LPG sum. (Nm ³)
0	0	0	0	0	0
1	703.3	338.6	99.9	52.1	52.1
2	763.1	451.4	99.9	52.1	104.2
3	801.2	528.6	99.9	52.1	156.3
4	827.9	591.7	99.8	52.1	208.4
5	826.2	625.0	86.2	45.5	253.9
6	804.9	632.3	77.1	41.2	295.1
7	785.9	639.9	64.3	35.0	330.1
8	768.1	644.4	51.2	28.7	358.8
9	750.7	648.4	43.3	26.5	385.3
10	734.6	650.9	35.6	24.2	409.5
11	746.1	660.1	34.1	23.4	432.5
12	719.4	654.5	36.4	24.2	452.3
13	739.9	665.5	35.3	23.8	472.1
14	721.5	663.0	36.3	24.2	490.3
15	724.0	674.3	35.7	24.2	507.6
16	734.8	677.9	36.1	24.2	524.1
17	718.9	671.8	35.76	24.2	530.2
18	0	0	0	0	530.2

ภาพที่ 11 ตารางแสดงข้อมูลหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพ
ของเตาอบอ่อนเช่นอุณหภูมิภายในเตาอัตราการเปิดวาล์ว
และอัตราการไหลของเชื้อเพลิง LPG

ดังเช่นงานวิจัยของภัทราภรณ์, ชูตินาถ และนิติมา [4] ที่
กล่าวถึงอัตราส่วนของอากาศและเชื้อเพลิงสำหรับหัวเผา
(A/F Ratio) ถ้ามีการปรับแต่งค่าการเผาไหม้อัตราส่วนของ
อากาศและเชื้อเพลิงไม่พอดีกันจะส่งผลทำให้เกิดก๊าซมลพิษ
และทำให้ความร้อนภายในเตาต่ำลงทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน
เชื้อเพลิงดังนั้นงานวิจัยนี้จึงให้ความสำคัญกับค่า %



ออกซิเจนและปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)
ภาพที่ 12 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่า % ออกซิเจน
ของการเผาไหม้ภายในเตาในช่วงก่อนและหลังการปรับปรุง



ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อน

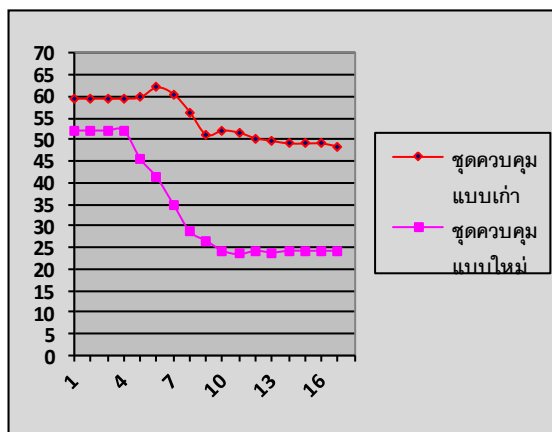
ภาพที่ 13 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบค่า % ออกซิเจน
และค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ของการเผาไหม้ภายใน
เตาในช่วงก่อนและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพเตาอบ
อ่อน

เมื่อเปรียบเทียบเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงาน
เชื้อเพลิง LPG ผลการทดลองของค่าตัวอย่างก่อนการ
ปรับปรุงค่าการเผาไหม้จะได้อัตราสิ้นเปลืองพลังงานอยู่ที่

8.89 Nm³/ตันและผลการทดลองค่าหลังจากการปรับปรุงอยู่ที่ 5.99 Nm³/ตัน ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึง 2.91 Nm³/ตัน คิดเป็นการลดใช้ต่อกิโลกรัมได้ 6.0 กิโลกรัม/ตัน คิดเป็นจากราคาขาย LPG กิโลละ 21 บาท 1 ตันจะประหยัดได้ 126 บาท 1ปีใช้งานทั้งหมด 21,925 ตัน/ปี จะประหยัดได้ 131,550 กิโลกรัม/ปี คิดเป็นเงิน 2,757,993 บาทต่อปี

4. อภิปรายผล (Discussion)

กระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็น มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในอัตราส่วนที่มากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 65% และ 35% [3] และในส่วนของกระบวนการผลิตขั้นตอนในส่วนของการอบอ่อน (Annealing) มีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงมากที่สุดกว่าทุกกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดเย็นจากกรณีศึกษาที่มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพของหัวเผาโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ชุดควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงรุ่นใหม่ที่ดีกว่ารุ่นเก่าคือมีฟังก์ชันพิเศษสามารถเปลี่ยนค่า MV% ที่ส่งสัญญาณมาจาก DCS ได้โดยตรงสำหรับชุดอุปกรณ์ควบคุมรุ่นเก่านั้นไม่สามารถทำได้ และยังสามารถควบคุมการทำงานของวาล์วแก๊สได้นานกว่ารุ่นเก่าอีกด้วยอีกทั้งยังประหยัดพลังงานและควบคุมค่า Nox ได้อีกทางหนึ่งด้วยอย่างไรก็ตามสภาพของเตาอบอ่อนที่มีอายุการใช้งานมายาวนานนั้นก็ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนโดยสูญเสียผ่านฉนวนกันความร้อนภายในเตาที่มีการชำรุดและเสียหาย, การรั่วไหลของเชื้อเพลิงแก๊สเกิดจากการรั่วของหน้าแปลนท่อและจุดเชื่อมต่อทำให้สูญเสียเชื้อเพลิงโดยใช้เหตุและยังเป็นอันตรายอย่างมากถ้าหากเกิดมีประกายไฟมาทำให้แก๊ส LPG ติดและถ้าหากค่าการเผาไหม้ของหัวเผาท่ออัตราส่วนของแก๊สกับอากาศไม่พอติดกันจะทำให้เกิดก๊าซมลพิษและเสียค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจากการสูญเสียพลังงานเชื้อเพลิงไป [4] ดังนั้นการปรับปรุงประสิทธิภาพของหัวเผาของเตาอบอ่อนทั้ง 10 ชุดนั้นเมื่อนำค่าของ O₂% ทั้งค่าก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพและหลังการปรับปรุงประสิทธิภาพมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันเพราะค่า % ออกซิเจนของหัวเผาก่อนการปรับปรุงประสิทธิภาพจะมีค่าการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ดังที่แสดงในภาพที่ 12

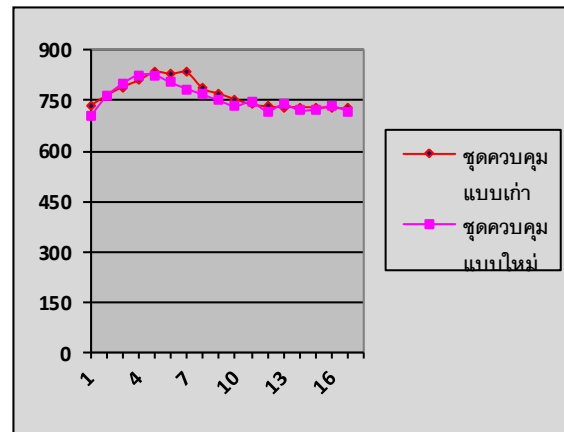


การเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายพลังงานเชื้อเพลิงของวาล์วเป็นรุ่นใหม่พบว่าสามารถควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงได้ดี (LPG Flow rate) มีประสิทธิภาพกว่าชุดควบคุมแบบเดิมดังภาพที่ 12

ภาพที่ 15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการควบคุมอัตราการไหลของเชื้อเพลิงของอุปกรณ์ควบคุมแบบเก่าและใหม่

หลังจากเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมและการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ (Combustion adjustment) แล้วอัตราการเพิ่มความร้อนในเตาอบ (Heating up) จากอุณหภูมิปกติไปจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งค่าไว้มีการเพิ่มขึ้นที่ดีกว่าชุดอุปกรณ์ควบคุมแบบเก่าและสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ดีกว่าด้วยดังภาพที่แสดงดังภาพที่ 13

ภาพที่ 15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเตาของชุดอุปกรณ์แบบเก่าและใหม่



ประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนที่ดีขึ้นส่งผลทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงได้และการปรับปรุงประสิทธิภาพและการบำรุงรักษาเพื่อลดเวลาปฏิบัติงานลงอีกด้วยด้วยการดำเนินการทำได้หลายแนวทางขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรวิธีการและเทคนิคงานซึ่งบำรุงรักษา [5] การปรับปรุงกรณีศึกษาของเตาอบอ่อนนี้ก็จะเป็นแนวทางหนึ่งที่เห็นผลได้ชัดเจนในเรื่องของการลดการใช้พลังงานและเวลาในการปฏิบัติงานลง

5. สรุปผล (Conclusion)

การวิจัยครั้งนี้ ทำให้ได้ผลการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาอบอ่อนแบบ (Batch Annealing Furnace) ที่ให้ความร้อนโดยหัวเผาจำนวน 10 หัว ว่าหลังจากการเปลี่ยนชุดอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายเชื้อเพลิงแก๊ส LPG ที่มีฟังก์ชันพิเศษสามารถเปลี่ยนค่า MV% ที่ส่งสัญญาณมาจาก DCS ได้โดยตรงอีกทั้งยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานและควบคุม

ค่า Nox ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ได้อีกด้วยและการปรับแต่งค่าการเผาไหม้ทำให้ได้อัตราส่วนเชื้อเพลิงและอากาศที่เหมาะสมทำให้ค่าการเผาไหม้สมบูรณ์กว่าอัตราส่วนก่อนการปรับปรุงที่มีค่าการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มีค่าออกซิเจนที่ไม่เหมาะสมและสามารถลดการใช้พลังงานลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นและคุณภาพเหล็กแผ่นที่ดีประเด็นสำคัญคือสามารถนำกรณีศึกษานี้ไปใช้กับเตาอบอ่อนเตาที่เหล็ภายในโรงงานได้อีกทั้งจะทำให้ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปกับพลังงานที่สูญเสียไปลดลงและประหยัดเงินให้กับทางโรงงานอีกด้วย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้รับการอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบริษัทซูโกโระ (ประเทศไทย) จำกัด และ Mr. Shingo Nakai วิศวกรจากบริษัท ซูโกโระ (ประเทศญี่ปุ่น) และคุณอดิสร บุญลา วิศวกรบริษัท เหล็กแผ่นรีดไทย จำกัด ที่ช่วยเหลือในการทดลองต่างๆด้วยดีตลอดมา ซึ่งคำแนะนำ ข้อเสนอแนะต่างๆ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยโดยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน,กระทรวงพลังงาน, เรื่อง สถานการณ์พลังงานปี2560และแนวโน้มปี2561
- [2] เรืองยศ วิเชียรรักษ์และสมชาย พัวจินดาเนตร(2561). ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความผันแปรของคุณสมบัติเชิงกลหลังการอบอ่อนของเหล็กแผ่นรีดเย็น. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2561
- [3] คมสัน ต้นตู่เกียรติ,จิตติน แดงเที่ยง. (2556) การวิเคราะห์หัตถ์ขึ้นการใช้พลังงานต่อผลผลิตของกลุ่มอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: ม.ป.ท
- [4] ภัทรภรณ์ โกษาแสง ชุตินาถ แสนราชและนิติมา อัจฉริยะโพธา.วารสาร [รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์](#) เรื่องการหาค่าอัตราส่วนของอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิด. ภาควิชาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [5] สุวิทย์ ภูลีและปารเมศ ชุตินา. วารสารวิจัยพลังงานการปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต.สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ผลของความเร็วอากาศและขนาดชีวมวลที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาชีวมวล

Effect of Air Velocity and Biomass Size on Thermal Efficiency of Biomass Burner

โชติวัธน ศุภรัตน์กุล¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ตำบลนาุ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

Email : chottiwatsut@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเตาชีวมวลโดยมีโครงสร้าง 3 ส่วน ประกอบด้วยส่วนโครงสร้างหลัก ส่วนห้องเผาไหม้ และส่วนหัวเตา สามารถให้ความร้อนต่อเนื่อง 60 นาที ทำการทดสอบความเร็วลมเข้าระบบการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศ ที่ระดับ 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 เมตรต่อวินาที ขนาดความยาวของวัสดุชีวมวลเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่าที่ระดับความเร็วลมอากาศเข้าระบบ 3.0 เมตรต่อวินาที ขนาดความยาวของวัสดุชีวมวล 30 มิลลิเมตร จะมีค่าความร้อนสูงสุด 6.22 MJ/kg ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ย 34.28% และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ระหว่างการใช้เตาชีวมวล กับการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวสามารถประหยัดได้ 274 บาท/สัปดาห์ และจะคืนทุนได้ในระยะเวลา 4.5 เดือน

คำสำคัญ : เตาชีวมวล, ค่าความร้อน, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

Abstract

The objective of this research was to development biomass burner. Prototype to consist of 3 parts. Consist has main structure, combustion chamber and burner head. It was provide continuous heat for 60 minutes. Experimental at air velocity of combustion system with air was 2.0, 2.5, 3.0 and 3.5 m/s. The length of biomass material was to 10, 20, 30 and 40 mm. Results that found at air velocity was 3.0 m/s. The length of biomass material was 30 mm and maximum high heating value was 6.22 MJ/kg. The average thermal efficiency was 34.28% .The compare energy costs between biomass burner and (LPG) liquid petroleum gas .Biomass burner can save 274 baht/week and payback in time 4.5 month.

Key word : Biomass burner, Heating value, Thermal efficiency

1. บทนำ (Introduction)

จังหวัดเพชรบุรีเป็นแหล่งที่มีพื้นฐานทางศิลปวัฒนธรรม และเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพ เกษตรกรเป็นหลัก ผลผลิตทางการเกษตรส่วนมากจะเป็น กล้วย ตาลโตนด ข้าว มะนาว ปาล์ม ข้าวโพดขางพารา มันสำปะหลัง ถั่วลิสง เป็นต้น แหล่งทำการเกษตรที่สำคัญจะ อยู่ในเขตอำเภอเมือง, อำเภอบ้านลาด, อำเภอ ท่ายาง และ อำเภอหนองหญ้าปล้องเกษตรกรรมเพาะปลูกในช่วงฤดูฝน และจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือน สิงหาคม ถึง กันยายนเมื่อ เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรแล้วจะเกิดซึ่งจะมี วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรออกมาจำนวนมาก ส่วนหนึ่ง นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในภาคครัวเรือนโดยตรง และอีก ส่วนมากที่ปล่อยทิ้งจนกลายเป็นเศษขยะ หากสามารถ รวบรวมข้อมูลปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งอย่างเป็นระบบ จะทำให้สามารถบูรณาการระบบการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทาง การเกษตรให้นำมาใช้ประโยชน์ในชุมชนอย่างเป็นรูปธรรม เพราะความหลากหลายทางการเกษตรของจังหวัดเพชรบุรี จะมีความเหมาะสมกับการใช้พลังงานชีวมวลในระดับชุมชน ได้เป็นอย่างดีประกอบกับนโยบายสนับสนุนการใช้พลังงาน อย่างมีประสิทธิภาพเป็นยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ จังหวัดเพชรบุรีขึ้นชื่อเรื่อง การทำขนมหวาน การแปรรูป น้ำตาลโตนด ซึ่งนิยมนำไปเป็นของฝาก แต่ในกระบวนการ ผลิตนั้นผู้ประกอบการส่วนมากยังนิยมใช้พลังงานความร้อน จากเตาเชื้อเพลิงชีวมวลโดยเฉพาะจากถ่านไม้ และฟืน ใน กระบวนการต้มน้ำตาล และเคี้ยวน้ำตาลโตนด ทั้งยังใช้ เวลานานสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในกระบวนการแปรรูปน้ำตาล โตนดมาก ซึ่งพบว่า พลังงานที่ใช้หุงต้มในภาคครัวเรือน ชนบท และกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดย่อม เริ่มมีราคาแพงมากขึ้นสำหรับเทคโนโลยีที่ใช้ อยู่เกี่ยวกับการใช้พลังงานจากไม้ส่วนใหญ่ยังมีประสิทธิภาพ ต่ำ ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงและวัตถุดิบมาก [1] ดังนั้นเพื่อให้ มีพลังงานใช้กันอย่างพอเพียงต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรที่มี อยู่อย่างจำกัด ให้มีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดและ ต้องเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีราคาถูกที่มีปริมาณที่เพียงพอ และ ต้องเป็นเชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อมน้อยด้วย การเลือกใช้พลังงานจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จาก ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาและพัฒนา เตาก๊าซชีวมวลของกลุ่มแปรรูปน้ำตาลโตนดในพื้นที่โดยใช้ ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรของพื้นที่จังหวัด เพชรบุรีเพื่อนำมาเป็นพลังงานของเตาก๊าซชีวมวล โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเตาก๊าซชีวมวล ตลอดจนทราบ ปัญหา อุปสรรคและแนวทางแก้ไขการมีส่วนร่วมในการ พัฒนาเตาก๊าซชีวมวล โดยเป็นการวิจัยพัฒนาเตาก๊าซชีวมวล

และเก็บข้อมูลในพื้นที่ภายในจังหวัดเพชรบุรี

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

1) ประสิทธิภาพเตาชีวมวล การประเมินประสิทธิภาพ เตาชีวมวลจะพิจารณาจากค่าองค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง ชีวมวลที่วิเคราะห์ ได้จากการทดลองและการวัดอัตราการ ไหลของแก๊สชีวมวลในการทดลองโดยจะคำนวณตาม ความสัมพันธ์ของสมการ หาค่าประสิทธิภาพทางความร้อน ดังนี้

$$\eta_g = \frac{V_g \times C_{v_g}}{m_{fuel} \times HHV_{fuel}} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่

V_g คือ ความเร็วการไหลของแก๊สชีวมวล (m^3/s)

C_{v_g} คือ ค่าความร้อนของแก๊สชีวมวล (kJ/m^3)

m_{fuel} คือ ปริมาณมวลเชื้อเพลิงที่ใช้ทดลอง (kg/s)

HHV_{fuel} คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงค่าสูงที่ได้ (kJ/kg)

2) การหาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวล

$$C_{v_g} = \sum H_i X_i \quad (2)$$

โดยที่

H_i คือ ค่าความร้อนของแก๊ส (CO_2, H_2, CH_4) (kJ/kg)

X_i คือ สัดส่วนโดยปริมาตรของแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้ จากการทดสอบ (kg/m^3)

3) การหาค่าความชื้น

$$m = \frac{(w_1 - w_2)}{w} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่

m คือ ปริมาณความชื้นในสารตัวอย่าง (%)

w_1 คือ น้ำหนักสารตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

w_2 คือ น้ำหนักสารตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

w คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

4. การวิเคราะห์สารระเหยและปริมาณเถ้า

$$V = \frac{(w_a - w_b)}{w} \times 100 - m \quad (4)$$

โดยที่

V คือ ปริมาณสารระเหย (%)

m คือ ปริมาณความชื้นในสารตัวอย่าง (%)

w_a คือ น้ำหนักสารตัวอย่างก่อนการเผา (กรัม)

w_b คือ น้ำหนักสารตัวอย่างหลังการเผา (กรัม)

W คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)



ภาพที่ 1 ลักษณะการเผาไหม้เตาของก๊าซชีววมวล

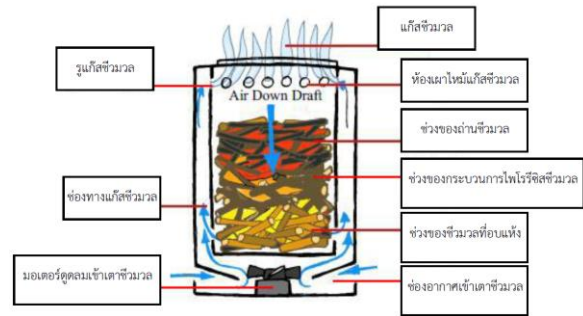
เตาก๊าซชีววมวลแบ่งเขตการเผาไหม้ออกเป็น 4 เขต [4] ดังนี้

1) ชั้นเผาไหม้ เป็นชั้นที่มีการเผาไหม้สารของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมี คือ คาร์บอน และไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักเมื่อมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะได้คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำ มีอุณหภูมิในการเผาไหม้ประมาณ $1,450^{\circ}\text{C}$ ในบริเวณนี้คาร์บอนจะเผาไหม้กับออกซิเจนในปริมาณที่จำกัดปฏิกิริยาในชั้นเผาไหม้นี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นในชั้นนี้จะถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาคายความร้อนในชั้นรีดักชันโซน และชั้นกลั่นสลาย ซึ่งผลผลิตหลักที่ได้จากชั้นการเผาไหม้คือความร้อนและเถ้าถ่าน

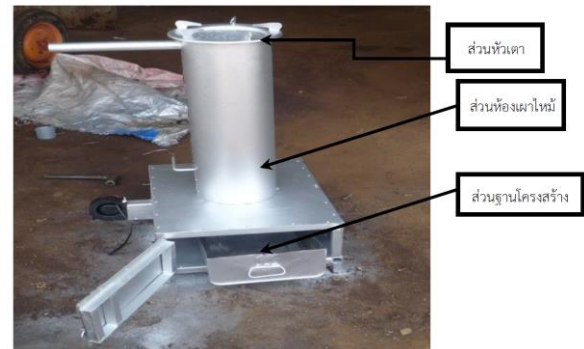
2) ชั้นเผาไหม้รอง เป็น โซนของการสังเคราะห์ก๊าซติดไฟได้ทั้งหมดเมื่อแก๊สร้อนต่างๆที่เกิดจากการเผาไหม้คือ คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำรวมถึงเชื้อเพลิงที่แตกตัวในชั้นนี้ คือ ทาร์ เกิดขึ้นปฏิกิริยาชั้นรีดัก จะได้ก๊าซที่ติดไฟได้คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน

3) ชั้นกลั่นสลายตัว โดยในชั้นนี้เชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากชั้นเผาไหม้ เพื่อสลายสารอินทรีย์ในเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้สารระเหยต่างๆ ออกมา ซึ่งประกอบไปด้วยเมทานอล กรดน้ำส้ม น้ำมันดิบ ก๊าซที่เผาไหม้ได้และไม่ได้ อุณหภูมิในชั้นนี้จะประมาณ $280-500^{\circ}\text{C}$ ของแข็งที่เหลือจากกระบวนการในชั้นนี้คือคาร์บอนในรูปถ่าน

4) ชั้นลดความชื้น สำหรับในชั้นนี้อุณหภูมิไม่สูงพอที่จะทำให้การสลายตัวของสารระเหยต่าง ๆ โดยที่ความร้อนที่ได้มาจากชั้นนี้ จะระเหยความชื้นที่อยู่ในชีววมวลในรูปของไอน้ำ อุณหภูมิในชั้นนี้อยู่ที่ประมาณ $100-135^{\circ}\text{C}$ สรุปแล้วคุณสมบัติของก๊าซที่ได้จากในชั้นนี้จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจน



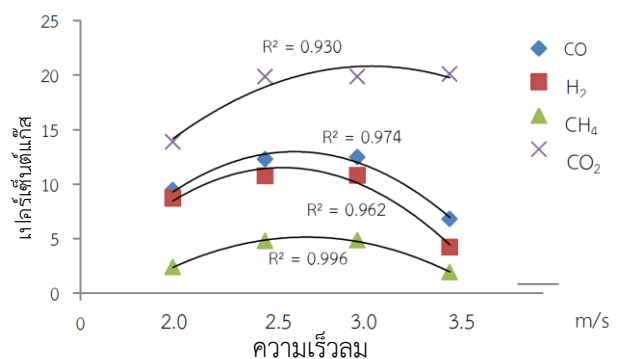
ภาพที่ 2 รูปแบบการทำงานของเตาชีววมวล



ภาพที่ 3 โครงสร้างของเตาชีววมวล

3. ผลการวิจัย (Results)

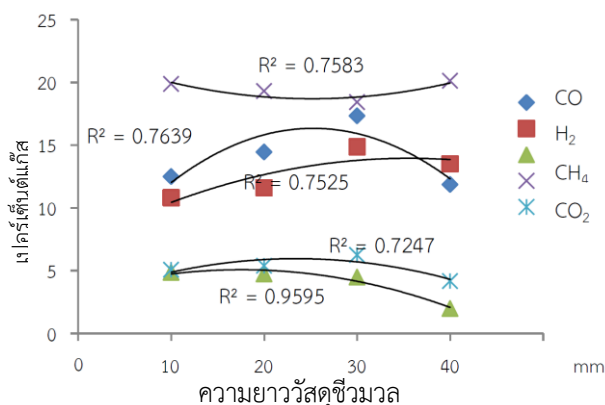
1) ผลของการเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศ การเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง เตาแก๊สชีววมวลแบบชนิดไหลลงที่ออกแบบ โดยได้กำหนดอัตราการป้อนอากาศเข้าสู่กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน มีค่าความเร็วระหว่าง 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 m/s และกะลาตาลอัดแท่งนั้นมีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 40 มิลลิเมตร โดยการทดลองนี้จะป้อนชีววมวลในปริมาณครั้งละ 10 กิโลกรัมเท่ากัน ในการทดลองของแต่ละความเร็วอากาศและผลการทดลองนั้นจะได้แก๊สชีววมวลหรือเรียกอีกอย่างว่าโปรดิวเซอร์แก๊ส จากนั้นจะวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สชีววมวล ทั้งเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้และส่วนอื่นๆ รวมถึงประเมินค่าความร้อน และค่าประสิทธิภาพทางความร้อน



ภาพที่ 4 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรของแก๊สชีววมวล

ที่ความเร็วลมแตกต่างกัน

2) ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าความยาวกะลาตาลอด
แท่งจากการทดสอบพบว่าที่ความเร็วของอากาศที่ป้อนเข้า
เตาปฏิกรณ์นั้น ณ ค่าความเร็ว 3 m/s และจากนั้นจะแบ่ง
ส่วนความยาวของกะลาตาลอดแท่งออกเป็น 4 ส่วน คือ
ความยาวระหว่าง 10, 20, 30 และ 40 มิลลิเมตร พบว่าที่
ความยาวของกะลาตาลอดแท่ง 30 มิลลิเมตรจะมีค่าความ
ร้อนสูงสุดซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 6.22 MJ/kg และมี
องค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนอกไซด์ 17.31% ไฮโดรเจน
14.85 % และมีเทน 4.47% ซึ่งเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และ
ส่วนแก๊สที่เผาไหม้ไม่ได้คือคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศ
เท่ากับ 8.47 % และ 54.97 % ตามลำดับ จากรูปที่ 5 ได้
แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอากาศกับค่าความร้อนของแก๊ส
เชื้อเพลิง พบว่าที่ความเร็ว อากาศ 3 m/s พลังงานความ
ร้อนของแก๊สชีววมลมีค่าสูงสุดและเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศ
เป็น 3.5 m/s พบว่าค่าความร้อนของแก๊สชีววมลลดลง
เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้นซึ่งแก๊สที่
ไม่ติดไฟโดยที่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นการสันดาปที่เข้าสู่
กระบวนการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น

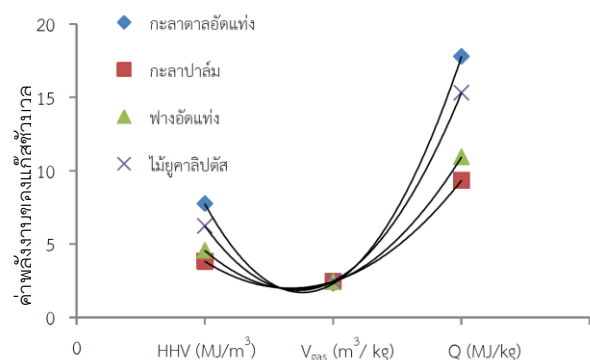


ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแก๊สชีววมลจากกะลา
ตาลที่มีความยาว 4 ขนาด

จากการทดสอบชีววมลจากกะลาตาลแล้วได้ทดสอบ
ชีววมลต่างชนิดเพิ่มอีก จำนวน 4 ชนิดคือ กะลาปาล์ม ฟาง
อัดเม็ด กะลามะพร้าว ไม้ยูคาลิปตัสสับย่อยเพื่อทำการ
ทดสอบ ประสิทธิภาพของเตาชีววมลที่ได้ออกแบบโดย
ทดลองใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์แบบ
ประมาณการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และค่าความร้อนของ
ชีววมล มีดังนี้

ตารางที่ 1. ค่าวิเคราะห์แบบประมาณ การวิเคราะห์แบบ
แยกธาตุ และค่าความร้อนของชีววมลชนิดต่างๆ

รายการวิเคราะห์	ผลการวิเคราะห์			
	ฟาง อัดเม็ด	ไม้ยูคา สับย่อย	กะลา ตาล	กะลา ปาล์ม
การวิเคราะห์แบบประมาณ				
1. Moisture (%)	14.55	1.14	4.46	1.62
2. Volatilesolid (%)	70.86	79.00	76.00	76.00
3. Ash (%)	3.33	2.64	1.32	4.72
4. FixedCarbon(%)	25.81	17.22	18.22	17.66
การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ				
1. C (%)	46.20	48.93	52.25	47.94
2. H (%)	6.316	8.05	5.42	7.63
3. O (%)	41.35	42.48	47.46	43.77
4. N (%)	0.87	0.52	1.46	0.63
5. S (%)	ND	0.02	0.05	0.03
6. Cl (%)	ND	1.767	5.354	7.517
7. Cu (%)	ND	0.167	0.0102	0.067
8. Fe (%)	ND	0.230	0.487	0.301
9. Zn (%)	ND	0.043	0.018	0.017
Heat Value				
1. high heating value (HHV) (kJ/kg)	18,978	18,557	20,202	17,839



ภาพที่ 6 ค่าพลังงานความร้อนของแก๊สชีววมล

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากตารางที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ
วัสดุชีววมลแบบแยกธาตุ เป็นการวิเคราะห์เพื่อแยกสัดส่วน
ของธาตุที่แน่นอน ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเพื่อให้
ทราบถึงธาตุที่เป็นองค์ประกอบในเชื้อเพลิงชีววมลโดยที่

ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงนั้นเป็นธาตุที่บ่งบอกถึงการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์รวมถึงมีเทนและจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น ควบคุมอุณหภูมิและการตรวจวิเคราะห์จะอ้างอิงมาตรฐาน ASTM D137 [1] ซึ่งพบว่ากะลาตาลมี คาร์บอนเป็นองค์ประกอบมากที่สุดร้อยละ 52.25 % รองลงมาเป็น O_2 และ N_2 โดยมีสัดส่วนองค์ประกอบเท่ากับ 47.46% และ 1.46% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าค่าความร้อนของกะลาตาลมีค่าความร้อนสูง (HHV) เท่ากับ 20,202 kJ/kg และ ปริมาณธาตุคาร์บอนนั้นจะบ่งบอกถึงว่าเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ดีหากมีเปอร์เซ็นต์มากกว่า 35 % ขึ้นไป ซึ่งหากต่ำกว่านี้จะทำให้ชีวมวลเป็นเถ้ามาก จากรูปที่ 6 พบว่า กะลาตาลมีค่าความร้อนมากกว่าชนิดอื่นเนื่องจากกะลามะพร้าวมีองค์ประกอบแก๊สที่เผาไหม้ได้คือ CO , H_2 , CH_4 มากกว่า ชีวมวลชนิดอื่นทั้ง 4 ชนิด ที่ทำการทดสอบ

การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนนั้นจะเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนระหว่างการใช้แก๊สชีวมวลจากกะลาตาลกับ LPG โดยที่พลังงานความร้อนของแก๊สสูงต้ม LPG มีค่าประมาณ 49.9 MJ/kg ซึ่งแก๊สสูงต้ม LPG ขนาดถึง 15 กิโลกรัมนั้นมีราคาเท่ากับ 380 บาทต่อถัง [2] ดังนั้น 1 กิโลกรัมจึงมีราคาเท่ากับ 25.33 บาท แก๊สสูงต้มขนาด 1 ถัง หากใช้หมดภายใน 1 สัปดาห์ โดยที่มีค่าความร้อนเท่ากับ 15 kg x 49.9 MJ/kg เท่ากับ 748.5 MJ สำหรับค่าพลังงานความร้อนแก๊สชีวมวลจากกะลาตาล ที่ได้จากการทดลองนั้นมีค่าเท่ากับ 15.3 MJ/kg และหากต้องการที่จะได้ค่าความร้อนเท่า 748.5 MJ จะต้องใช้ชีวมวลจากกะลาตาลอัดแห้งปริมาณ 50 กิโลกรัม ซึ่งการผลิตแก๊สจากกะลาตาล 1 กิโลกรัมจะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 2.12 บาทต่อกิโลกรัม หากต้องการความร้อนเท่ากับ LPG ขนาด 1 ถัง จะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 50 x 2.12 เท่ากับ 106 บาท ซึ่งพบว่าการผลิตแก๊สชีวมวลให้มีความพลังงานความร้อนเท่ากับแก๊สสูงต้ม LPG ขนาดถึงบรรจุ 15 กิโลกรัม มีค่าประหยัดกว่าการใช้ LPG 274 บาท/สัปดาห์ และจากการลงทุนสร้างเตาแก๊สชีวมวลซึ่งมีต้นทุนเท่ากับ 5000 บาท จะพบว่าหากนำเตาปฏิกรณ์ผลิตแก๊สชีวมวลมาใช้ทดแทน LPG จะคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่ากับ 5,000/274 เท่ากับ 18.24 สัปดาห์ โดยคิดระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 4.5 เดือน

5. สรุปผล (Conclusion)

ปริมาณคาร์บอนในเชื้อเพลิงนั้นเป็นธาตุที่บ่งบอกถึงการเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์รวมถึงมีเทนและจะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นซึ่งพบว่ากะลาตาลมีค่า C เป็นองค์ประกอบมากที่สุดร้อยละ 51.21%

รองลงมาเป็น O_2 และ N_2 โดยมีสัดส่วนองค์ประกอบเท่ากับ 40.33% และ 1.393% ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าค่าความร้อนของกะลาตาลมีค่าความร้อนค่าสูง (HHV) เท่ากับ 15,878 MJ/kg ความเร็วอากาศเข้าระบบการเผาไหม้แบบจำกัดอากาศที่เหมาะสมเท่ากับ 3 m/s ซึ่งจะได้ค่าองค์ประกอบแก๊สคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ 12.48% ไฮโดรเจน 10.79 % และมีเทน 4.84% ซึ่งเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้และส่วนแก๊สที่เผาไหม้ไม่ได้คือคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศเท่ากับ 19.86% และ 52.03% ตามลำดับ และมีค่าความร้อนเท่ากับ 5.05 MJ/kg และอัตราการไหลของแก๊สชีวมวลที่ได้ทดลองมีค่าเท่ากับ 0.010 m³/s ขนาดความยาวของกะลาตาลอัดแห้งที่เหมาะสม คือ 30 มิลลิเมตรจะมีค่าความร้อนสูงที่สุดซึ่งมีค่าความร้อนเท่ากับ 6.22 MJ/kg และมีองค์ประกอบดังนี้ คาร์บอนมอนอกไซด์ 17.31% ไฮโดรเจน 14.85% และมีเทน 4.47% ซึ่งเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ และส่วนแก๊สที่เผาไหม้ไม่ได้คือคาร์บอนไดออกไซด์และอากาศเท่ากับ 8.47% และ 54.97% ตามลำดับ การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน พบว่าการผลิตแก๊สชีวมวลนั้นประหยัดกว่าการใช้ LPG 274 บาท/สัปดาห์ และจากการลงทุนสร้างเตาแก๊สชีวมวลจะคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 4.5 เดือน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่สนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนบุคลากร และเจ้าหน้าที่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ซึ่งให้ความอนุเคราะห์ด้วยดีในการใช้สถานที่ปฏิบัติงานเครื่องมือต่างๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เทคโนโลยีพลังงานชีวมวล,การผลิตก๊าซเชื้อเพลิง, 2015.
- [2] สถิติพลังงานของประเทศไทย, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,กระทรวงพลังงาน, 2559.
- [3] Available at : <http://www.dede.go.th/>, Accessed Gasifier Experimenters Kit, 2015.
- [4] Available at : <http://www.gekgasifier.com/gasification-basics/gasifier-types>, Wood Gas or Syngas, 2016.
- [5] Available at : <http://www.envirotoons.com/page6.html>, 2016.

การลดการใช้น้ำด้วยวิธีประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์
กรณีศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
Reducing Water Use Assessment Methods Water Footprint
Case Studies, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

สิทธิ์ศักดิ์ ถ้ำทอง*¹, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล¹ และประภาพร พลอยยอด¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
srihasak.t@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาแนวทางการลดปริมาณการใช้น้ำด้วยวิธีประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการลดการใช้น้ำแก่คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยทำการศึกษาร่องรอยการใช้น้ำของธุรกิจ (Water Footprint Business) ซึ่งมีมหาวิทยาลัยเป็นองค์กรธุรกิจประเภทบริการ โดยดำเนินการวัดจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการดำเนินงานของนักศึกษาและบุคลากรขององค์กรในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งขอบเขตของการศึกษาพิจารณาในระยะเวลาของปีพ.ศ. 2559 โดยทำการหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์องค์กรเป็นผลรวมของการใช้น้ำในกิจกรรมทางตรง ทั้ง 3 ปีการศึกษา คือ ปีการศึกษา 2559 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร ปีการศึกษา 2560 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร ปีการศึกษา 2561 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 40.21 ลูกบาศก์เมตร โดยพบว่าปริมาณการใช้น้ำนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนของนักศึกษา ช่วงเวลาการทำงานและเวลาเรียนของนักศึกษาและบุคลากร โดยแนวทางในการลดปริมาณการใช้น้ำนั้นจะต้องวางแผนทั้งในระยะสั้น ได้แก่ การตรวจสอบสภาพการใช้งาน ตรวจสอบ รอยรั่ว ซึม และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำที่ชำรุด เดือนละ 1 ครั้ง ส่วนแผนระยะยาวจะเป็นการให้ความรู้เรื่องการประหยัดน้ำประปาแก่นักศึกษาและบุคลากรจัดกิจกรรม นิทรรศการ ป้ายรณรงค์ เพื่อกระตุ้นสร้างจิตสำนึกในการใช้น้ำประปา และจัดทำโครงการประเมินการใช้น้ำด้วยวอเตอร์ฟุตพริ้นต์

Abstract

The study of guidelines for reducing quantity water use by assessment methods water foot print case study of the faculty of engineering Rajamangala University of Technology Phra Nakhon with the objective of proposing ways to reduce water use for the faculty of engineering by studying the water footprint business, the university is a service organization by measuring the amount of water used in the operation of students and personnel of the organization in the faculty of engineering the scope of the study was considered during the period of 2016 by determining the water footprint of the organization as the sum of water usage in direct activities for all 3 academic years, which are 1. academic year 2016 water foot print cost 43.82 cubic meters 2. academic year 2017 water foot print cost 43.82 cubic meters 3. academic year 2018 water footprint of 40.21 cubic meters, found that the amount of water used depends on the number of students working hours and school hours for students and staff the guidelines

for reducing water consumption must be planned in the short term, such as checking usage conditions, checking for leaks and changing equipment related to damaged water usage, once a month. Is to provide knowledge about saving water to students and personnel, organizing exhibition activities, signboards to stimulate awareness of using tap water and conducting a water use assessment project

คำสำคัญ ร่องรอยการใช้น้ำ; การประเมินการใช้น้ำ; วอเตอร์ฟุตพริ้นต์; การจัดการน้ำ; Water footprint

1. บทนำ (Introduction)

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งที่มีชีวิตและเป็นสารที่มีมากที่สุด พื้นที่ที่เป็นน้ำมีทั้งหมดประมาณ 3 ใน 4 ของพื้นที่โลกทั้งหมด น้ำเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในกระบวนการทางเคมีและชีวเคมี ความต้องการใช้น้ำมีเพิ่มมากขึ้นตลอดเวลา ทั้งในด้านการอุปโภคบริโภค การเกษตร และอุตสาหกรรม แม้ว่าน้ำจะเป็นทรัพยากรที่เกิดขึ้นทดแทนใหม่ได้ (renewable) แต่ในเวลาหนึ่ง ๆ น้ำมีปริมาณอยู่จำกัด ปริมาณน้ำที่เก็บกักตามแหล่งน้ำต่าง ๆ อาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำ น้ำมีผลกระทบมากมายต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งผลกระทบทางกายภาพ ผลกระทบทางเคมี ผลกระทบทางชีววิทยา และผลกระทบทางมลพิษ เช่น ปัญหาการเกิดมลพิษทางน้ำ ทำให้น้ำที่มีอยู่มีคุณภาพลดลง ไม่สามารถนำน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้เต็มที่ การเข้าใจวัฏจักรของน้ำ ปัญหาที่เกิดขึ้นกับทรัพยากรน้ำ การจัดการและการวางแผนการใช้ที่เหมาะสมและการอนุรักษ์แหล่งน้ำ จะทำให้เราสามารถใช้อย่างมีประสิทธิภาพได้ยาวนานและมีประสิทธิภาพมากที่สุด [1] น้ำคือความจำเป็นของชีวิต สามารถหาหลักการและเหตุผลทางวิทยาศาสตร์มาพิสูจน์ยืนยันความเป็นจริงดังกล่าวได้ข้างต้น ด้วยวิธีวิทยาศาสตร์เก็บข้อมูล วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างคนกับน้ำ แล้วนำมาพิจารณาทางเลือกในการกำหนดนโยบายและการบริหารจัดการน้ำ [2]

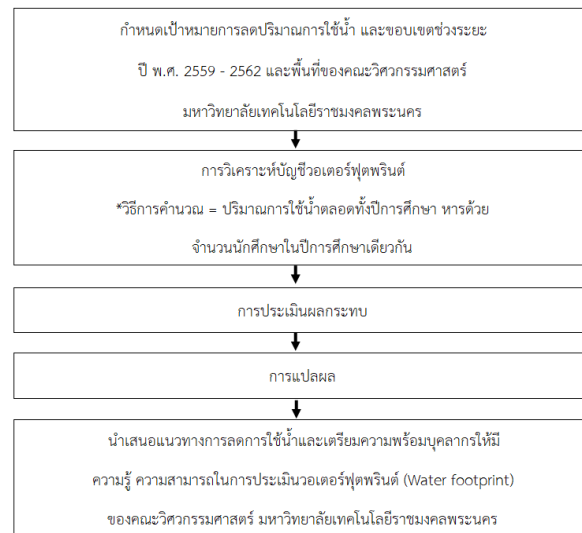
การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำถือเป็นเรื่องสำคัญในการจัดการสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาคและระดับสากล เนื่องจากแหล่งน้ำถูกรุกรานอันเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้เกิดปัญหาแหล่งน้ำเสื่อมโทรม การขาดแคลนน้ำในหลายพื้นที่ และมีที่ท่าที่จะลุกลามออกไป ISO 14046 : 2015 เป็นแนวทางการจัดทำรอยเท้าคาร์บอนหรือคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Water footprint) คือ การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของกระบวนการผลิตสินค้าและองค์กร บนพื้นฐานการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ แนวทางการดำเนินงานนี้นำไปสู่การดำเนินการและการรายงานการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Water footprint) จะช่วยให้องค์กรทราบถึงข้อมูลปริมาณการใช้น้ำในแต่ละกิจกรรม โดยสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อวางแผนการใช้น้ำอย่างประหยัดและเหมาะสม ซึ่งเป็นการสนับสนุนให้องค์กรมีการดำเนินงานอย่างยั่งยืน [3] ดังนั้นจึงได้รวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากค่าน้ำประปาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร พบว่า ปริมาณค่าใช้จ่ายค่าน้ำประปา ระหว่างปี พ.ศ. 2559 – 2562 โดยปริมาณ การใช้น้ำแต่ละปี การศึกษา ได้แก่ 30,452 29,553 และ 30,360 (ลบ.ม.)

ตามลำดับ ปริมาณการใช้น้ำในแต่ละเดือนสัมพันธ์กับหลักเศรษฐศาสตร์กับความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากร

จากสภาพปัญหาด้านทรัพยากรน้ำที่สำคัญ คือ การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำให้มากที่สุด โดยคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่าด้วยเหตุนี้ งานวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เน้นการมีส่วนร่วมภายในองค์กรโดยนำเสนอแนวทางการลดการใช้น้ำและเตรียมความพร้อมบุคลากรให้มีความรู้ ความสามารถในการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นการแสดงความรับผิดชอบต่อสังคมเพื่อการพัฒนาองค์กรเป็นไปได้อย่างยั่งยืน

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

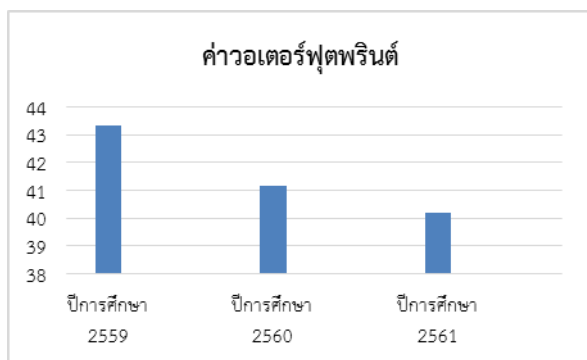
ทำการศึกษาการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตามหลักมาตรฐาน ISO 14046 [4] นำมาเป็นวิธีวิจัยครั้งนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการวิจัย

3. ผลการวิจัย (Results)

การวิเคราะห์ข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เพื่อประเมินค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่อองค์กรเป็นผลรวมของการใช้น้ำในกิจกรรมทางตรง ทั้ง 3 ปีการศึกษา คือ 1. ปีการศึกษา 2559 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร 2. ปีการศึกษา 2560 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร 3. ปีการศึกษา 2561 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 40.21 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลของการวิจัยได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2 ค่าอวเตอร์ฟุตพริ้นต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ส่วนของข้อมูลอาคารสถานที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พื้นที่อาคารทั้งหมดของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

ลำดับ ที่	ชื่ออาคาร	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	อาคารอำนวยการ	869.25
2	อาคารอเนกประสงค์	1,310.57
3	อาคารสำนักงานบริการ	274.20
4	อาคารวิศวกรรมเครื่องกล	1,257.88
5	อาคารแม่พิมพ์และเครื่องประดับ	390.60
6	อาคารช่างกลโรงงาน 1 ชั้น	580.80
7	อาคารช่างกลโรงงาน 2 ชั้น	278.90
8	อาคารเรียนและปฏิบัติการสาขา เครื่องจักรกลอัตโนมัติ CNC	435.20
9	อาคารเรียนและปฏิบัติการสาขา วิศวกรรมโยธา	600.00
10	อาคารเรียนและปฏิบัติการสาขา ช่างยนต์	480.00
11	อาคารเรียนและปฏิบัติการสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า	707.00
12	อาคารเรียนและปฏิบัติการสาขา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	623.56
13	อาคารวิศวกรรมผลิตเครื่องมือและ แม่พิมพ์	792.00
14	อาคารฝึกพื้นฐานทางวิศวกรรม	593.20
15	อาคารช่างหล่อ	459.00
16	อาคารกิจการนักศึกษา	1,568.00
17	อาคารเรียนและปฏิบัติการ วิศวกรรมอุตสาหการ	951.37
18	ร้านขายน้ำ (หลังตึกอำนวยการ)	31.50

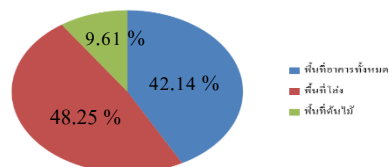
รวม	12,203.03
-----	-----------

พื้นที่ทั้งหมดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โดยแยกเป็นพื้นที่อาคาร พื้นที่
ต้นไม้ พื้นที่โล่ง ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พื้นที่ทั้งหมดของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

ลำดับ ที่	พื้นที่	พื้นที่ (ตร.ม.)
1	พื้นที่อาคารทั้งหมด	12,203.03
2	พื้นที่โล่ง	13,973.97
3	พื้นที่ต้นไม้	2,782.50
รวม		28,959.50

จากตารางที่ 2 ทำให้เห็นได้ว่าพื้นที่ใช้น้ำทั้งหมด โดยใช้
พื้นที่เป็นตัวกำหนดในการใช้น้ำ โดยพื้นที่ทั้งหมดของคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ คิดเป็นร้อยละ 100 ประกอบด้วยพื้นที่
อาคารทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 42.14 พื้นที่โล่ง คิดเป็นร้อย
ละ 48.25 และพื้นที่ต้นไม้ คิดเป็นร้อยละ 9.61 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 พื้นที่การใช้น้ำทั้งหมดของคณะวิศวกรรมศาสตร์

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตารางที่ 1 และ 2 โดย
สามารถจำแนกกิจกรรมการใช้น้ำด้วยพื้นที่ของคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
โดยวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้น้ำของบุคลากรคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ทำการจำแนกเป็นการอุปโภค และบริโภค การอุปโภคเป็น
การนำไปใช้สอยให้เกิดประโยชน์ ได้แก่ การใช้น้ำในงาน
ปฏิบัติการวิชาเรียน ทำความสะอาดอาคารสถานที่ ห้องสุขา
ล้างภาชนะอาหาร การรดน้ำต้นไม้ และทำความสะอาด
ยานพาหนะ ส่วนของบริโภค ใช้ในการประกอบอาหารและ
เครื่องดื่ม และน้ำดื่มเพื่อบริโภค ซึ่งสัมพันธ์กับรูปที่ 4 จะ
แสดงให้เห็นกิจกรรมการใช้น้ำอยู่ในพื้นที่อาคารทั้งหมด ร้อยละ
42.14 และพื้นที่ต้นไม้ ร้อยละ 9.61 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 51.75
ของพื้นที่ทั้งหมด ทั้งนี้ยังคำนึงการสูญเสียการรั่วไหลของน้ำ
ทำให้เกิดการใช้น้ำที่สูญเปล่า และจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น
ตามมา

4. อภิปรายผล (Discussion)

ค่าอวเตอร์ฟุตพริ้นต์ของพื้นที่กรณีศึกษาจาก
วัตถุประสงค์การวิจัยที่ต้องการทราบอวเตอร์ฟุตพริ้นต์ของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ และค้นหาวิธีการหรือแนวทางในการบริหารจัดการการลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ผลการวิจัยพบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ ได้ดังนี้ ปีการศึกษา 2559 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร ปีการศึกษา 2560 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร ปีการศึกษา 2561 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 40.21 ลูกบาศก์เมตร

5. สรุปผล (Conclusion)

จากผลของการวิจัยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ องค์กรของพื้นที่กรณีศึกษาพบว่า คือ ปีการศึกษา 2559 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร ปีการศึกษา 2560 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 43.82 ลูกบาศก์เมตร และปีการศึกษา 2561 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ 40.21 ลูกบาศก์เมตร จากปัญหาของกิจกรรมที่ทำให้เกิดการใช้น้ำที่พบปัญหานำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์การใช้น้ำและบำรุงรักษาอุปกรณ์เพื่อลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ รวมถึงผลที่ได้จะเป็นตัวอย่างในการวิจัยของสถาบันการศึกษามีความสนใจ และใช้เป็นต้นแบบในการวิจัยเพื่อขอขึ้นทะเบียนวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ องค์กรในการอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร และอาจารย์ประจำสาขา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ในจัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พูลสุข โพธิ์รักขิต-ปรัชญานุสรณ์, เคมีสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ : สาละ, 25553
- [2] จิรากรณ์ คชเสนี, นิเวศพัฒนาเพื่อความยั่งยืน, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556
- [3] สถาบันรับรองมาตรฐานไอเอสโอ, ข้อมูลจาก : http://intelligence.masci.or.th/intelligence_news_details_th.php?id=1128 (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 กันยายน 2559)
- [4] สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน, โครงการประเมินการใช้น้ำบาดาลตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Water Footprint) รายงานฉบับสมบูรณ์, กรุงเทพฯ : สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, 2560

การปรับปรุงท่าทางการทำงานของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโค เพื่อลดความเมื่อยล้าของระบบกล้ามเนื้อ

Improving the Work Posture of the Distribution Center of Consumer Products Staff to Reduce Muscle Fatigue

จตุพร แสงตุ^{1*}, จเร เลิศสุตวิชัย²

^{1,2} สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

E-mail: jatuporn.sangtu@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze and improve employee work stations which found ergonomics problems in the distribution center of consumer products to reduce muscle fatigue. The initial body fatigue survey results of 33 employees and were knee 72.7%, feet 72.7%, lower back 66.7%, hand/wrist 63.6%, shoulders 60.6%, lower arm 60.6%, upper arm 57.6% and upper back 54.5%. Then assess the ergonomics risk of step one with REBA, step two with RULA and step three with REBA. The ergonomics risk assessment complied with body fatigue survey. The 3-step has the highest risk level. The improvement solution was provided for three ergonomics problems but only one items (step two) can implemented. The recommendations for step two was improve working posture and the risk level was reduced after evaluated. Evaluation by RULA from 7 points to 5 points. The risk level after implemented was reduced and increase average employee satisfaction in high level.

Key word: fatigue; ergonomics and assessment

* Corresponding author, E-mail: jatuporn.sangtu@gmail.com

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันประเทศไทยมีการแข่งขันทางด้านอุตสาหกรรมอย่างสูง ผู้ประกอบการได้นำเครื่องจักร และเทคโนโลยีเข้ามาทำงานร่วมกับคนมากขึ้น เพื่อต้องการเพิ่มผลผลิตและตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคให้มากที่สุด [1] เมื่อเปรียบเทียบกับสถานประกอบการคู่แข่ง ลักษณะการผลิตจะเป็นแบบเร่งรีบ ทำให้แรงงานต้องทำงานในสภาพของการแข่งขัน ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของคนงาน คนงานได้รับการบาดเจ็บหรือโรคที่เกิดจากการทำงาน ส่งผลกระทบต่อร่างกายและจิตใจ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง [2]

ศูนย์กระจายสินค้าบริโศก เป็นศูนย์กระจายสินค้าในรูปแบบห้องเย็นอุณหภูมิประมาณ 2-6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของพนักงาน ประกอบด้วย การได้รับอุบัติเหตุถูกขังติดอยู่ในห้องเย็น อุบัติเหตุจากสารทำความเย็นรั่ว การบาดเจ็บจากความเย็น ศูนย์กระจายสินค้าบริโศกเป็นศูนย์กลางของการรับสินค้าประเภทอาหารสำเร็จรูปที่ต้องรักษาและควบคุมอุณหภูมิจากผู้ผลิตสินค้ารายย่อย โดยจะมีพนักงานรับสินค้า จัดเก็บสินค้าในห้องควบคุมอุณหภูมิ และส่งมอบสินค้าให้กับร้านสาขา กระบวนการทำงานส่วนใหญ่จะเป็นการยกสินค้า จัดสินค้า และการลำเลียงสินค้า ลักษณะของการปฏิบัติงานจะปฏิบัติงานอยู่ในห้องควบคุมอุณหภูมิ การเกิดอุบัติเหตุในขณะทำงาน ได้แก่ การลื่นล้ม สินค้าตกใส่ ความเมื่อยล้าจากการยกและการเคลื่อนย้ายสินค้าที่ไม่ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์

ลักษณะการปฏิบัติงานของพนักงานในทุกแผนก พนักงานจะเป็นผู้ยก ลาก เคลื่อนย้ายสินค้า จากแผนกหนึ่งไปสู่แผนกหนึ่งด้วยความรวดเร็วและเร่งรีบเพื่อจัดส่งสินค้าให้ได้ทันเวลา ซึ่งส่วนใหญ่พนักงานทั้ง 4 แผนก จะปฏิบัติงานด้วยท่าทางที่ไม่ถูกต้อง มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บในการปฏิบัติงานของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก จากการศึกษาข้อมูลการเข้ารับบริการห้องพยาบาลจากการปฏิบัติงานของพนักงานในแผนกต่าง ๆ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2559 พบว่าพนักงานส่วนใหญ่เข้ารับบริการด้วย 5 กลุ่มอาการ โดยเข้ารับบริการด้วยอาการของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกสูงสุด ระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาทและสมอง ระบบผิวหนัง และระบบตาหูคอจมูก โดยพบว่าอาการทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูกมีอัตราสูงกว่าโรคอื่น และพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี และเมื่อวิเคราะห์ละเอียดตามรายแผนกพบว่าแผนกที่พนักงานมีอัตราการใช้ห้องพยาบาลด้วยโรคกล้ามเนื้อและกระดูกสูงสุด คือ แผนกจัดส่งขาเข้า ซึ่งมากกว่าแผนกอื่น ทั้ง 3 ปี [3]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการศึกษาโดยการวิเคราะห์

และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงท่าทางการทำงานในการปฏิบัติงานของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโศกในแผนกจัดส่งขาเข้าเท่านั้น ในการปรับปรุงอุปกรณ์และสภาพการทำงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลลักษณะท่าทางการทำงานของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโศกและค้นหาสาเหตุของปัญหาการยศาสตร์ และปรับปรุงลักษณะท่าทางและวิธีการทำงานของพนักงานศูนย์ฯ ที่สามารถช่วยลดความเมื่อยล้าจากการปฏิบัติงานของพนักงาน

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

ประชากร ที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า ได้แก่ พนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโศก จำนวน 307 คน โดยปฏิบัติงานใน 4 แผนก ดังนี้ แผนกจัดส่งขาเข้า จำนวน 33 คน แผนกรับสินค้า จำนวน 26 คน แผนกจัดส่งสินค้า จำนวน 220 คน และแผนกส่งมอบ จำนวน 28 คน จากนั้นดูแนวโน้มสถิติการเข้าใช้ห้องพยาบาลด้วยระบบโรคกล้ามเนื้อและกระดูก พบว่าแผนกจัดส่งขาเข้ามีอัตราการเข้าใช้ห้องพยาบาลสูงสุด

กลุ่มตัวอย่าง ได้ทำการศึกษาความเมื่อยล้าในการทำงานทั้ง 4 แผนก โดยศึกษาทุกคนในแผนกจัดส่งขาเข้า จำนวน 33 คน แผนกรับสินค้า จำนวน 26 คน แผนกส่งมอบ จำนวน 28 คน และทำการศึกษาร้อยละ 15 ในแผนกจัดส่งสินค้า จำนวน 33 คน เพื่อให้ได้กลุ่มตัวอย่างในแต่ละแผนกที่มีจำนวนใกล้เคียงกัน และทำการคัดเลือกแผนกที่พนักงานมีความเมื่อยล้าสูงสุด ผลการศึกษา พบว่า แผนกจัดส่งขาเข้ามีคะแนนความเมื่อยล้าสูงสุด จึงคัดเลือกพนักงานแผนกจัดส่งขาเข้าทำการปรับปรุงท่าทางการทำงานในการปฏิบัติงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบประเมินสภาวะสุขภาพของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าควบคุมอุณหภูมิ
2. แบบสอบถามความพึงพอใจก่อนและหลังการปรับปรุง
3. แบบประเมินด้านการยศาสตร์ตามเทคนิค RULA และ REBA [4]

ขั้นตอนการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีขั้นตอนดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ศึกษาสภาพปัญหาจากข้อมูลสถิติการเข้าใช้ห้องพยาบาลย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557-2559
2. ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษารายละเอียดและวิเคราะห์ข้อมูลขั้นตอนการทำงาน of ศูนย์กระจายสินค้าบริโศก ได้แก่ แผนกจัดส่งขาเข้า แผนกรับสินค้า แผนกจัดส่งสินค้า และแผนกส่งมอบสินค้า

3.1 ประเมินโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบสอบถาม ข้อมูลส่วนบุคคลทั่วไป ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูงสถานภาพการสมรส ระดับการศึกษา ตำแหน่งงานในปัจจุบัน ความถนัดของมือ การดื่มแอลกอฮอล์ การสูบบุหรี่ การออกกำลังกาย การพักผ่อนที่เพียงพอ และโรคประจำตัว

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามเพื่อสำรวจอาการปวดเมื่อยของกล้ามเนื้อจากการทำงาน แบบสอบถามประยุกต์มาจากมาตรฐาน ISO/TS 20646-1: Ergonomic procedure for the improvement of local muscular workloads – Part 1: Guidelines for reducing local muscular [5]

3.2 ทำการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยเทคนิค RULA และ REBA

4. การออกแบบปรับปรุงท่าทางการทำงานใหม่
5. ทดลองการใช้งานท่าทางการทำงานใหม่
6. ประเมินประสิทธิผลการออกแบบและปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงานของพนักงาน
7. สรุปและอภิปรายผลของการวิจัย

3. ผลการวิจัย (Results)

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

จากการศึกษาข้อมูลส่วนบุคคลของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโศค พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 64.2 รองลงมาเป็นเพศหญิง ร้อยละ 35.8 มีอายุอยู่ในช่วงอายุมากกว่า 35 ปี คิดเป็นร้อยละ 40.0 รองลงมา มีอายุอยู่ในช่วงต่ำกว่า 25 ปี คิดเป็นร้อยละ 35.0 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีดัชนีมวลกายอยู่ในระดับปกติ (18.5–22.9 กิโลกรัม) คิดเป็นร้อยละ 72.5 รองลงมา มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในระดับอ้วน (น้ำหนักมากกว่า 22.9 กิโลกรัม) คิดเป็นร้อยละ 23.3 ซึ่งพนักงานอยู่ในช่วงวัยทำงานซึ่งเป็นช่วงที่มีความเสี่ยงปัญหาทางด้านสุขภาพน้อย

กลุ่มตัวอย่างมีอายุงานส่วนใหญ่มากกว่า 3 ปี คิดเป็นร้อยละ 38.3 รองลงมา มีอายุงานระหว่าง 1 ปี 1 วัน – 2 ปี คิดเป็นร้อยละ 27.5 กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ทำงานนอกเวลา คิดเป็นร้อยละ 98.3 โดยมีค่าเฉลี่ยชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 30 ชั่วโมงต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 72.0 ซึ่งพนักงานส่วนใหญ่ทำงานนอกเวลา อาจเป็นผลทำให้ร่างกายของพนักงานเกิดความเมื่อยล้าและสอดคล้องกับข้อมูลการเข้าใช้ห้องพยาบาลของพนักงานที่เข้าใช้ด้วยโรคระบบกล้ามเนื้อและกระดูก จึงควรปรับปรุงระยะเวลาการทำงาน เช่น จัดตารางการพักและการสลับตำแหน่งการทำงานเพื่อป้องกันการทำงานด้วย

ท่าทางที่ซ้ำๆ

กลุ่มตัวอย่างมีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 3.3 โดยโรคประจำตัวที่กลุ่มตัวอย่างเป็นได้แก่ โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคหัวใจ เมื่อสอบถามถึงเวลาเฉลี่ยในการนอนแต่ละวัน ส่วนใหญ่อยู่ที่ 7 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 40.8 รองลงมาอยู่ที่ 6 ชั่วโมงต่อวัน และมีกลุ่มตัวอย่างที่ใช้เวลาในการนอน 8 ชั่วโมงต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 26.7 และ 19.2 ตามลำดับ พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีการออกกำลังกายมากถึง ร้อยละ 52.5 จากการสำรวจการพักผ่อนและการออกกำลังกายของพนักงานเพียงพอและสามารถช่วยผ่อนคลายความเมื่อยจากการปฏิบัติงานได้ จึงควรมีการออกกำลังกายโดยการยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มงาน

เมื่อสอบถามถึงพฤติกรรมการสูบบุหรี่และการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ปัจจุบันไม่มีการสูบบุหรี่ คิดเป็นร้อยละ 68.3 และไม่ดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ คิดเป็นร้อยละ 72.5 กลุ่มตัวอย่างมีความถนัดของมือขวาสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 94.2 แต่เมื่อทำงานพบว่ากลุ่มตัวอย่างใช้มือทั้งสองข้างเท่า ๆ กัน คิดเป็นร้อยละ 89.2 รองลงมาจะใช้มีข้างขวา คิดเป็นร้อยละ 8.3

กลุ่มตัวอย่างเคยได้รับการอบรมเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้องจากหน่วยงาน คิดเป็นร้อยละ 59.2 และ ไม่เคยได้รับการอบรม คิดเป็นร้อยละ 40.8 ซึ่งส่วนใหญ่ได้รับการอบรม จำนวน 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 88.9 และ อบรมมากกว่า 1 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 14.1 จากการสำรวจ พบว่าการฝึกอบรมเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้องให้กับพนักงานสามารถลดปัญหาความเมื่อยล้าของพนักงาน จึงควรมีการจัดฝึกอบรมให้กับพนักงาน

ความเมื่อยล้า การได้รับบาดเจ็บ และการเจ็บป่วยจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ปฏิบัติงานในศูนย์กระจายสินค้าบริโศค จำแนกตามอวัยวะ และระดับความรู้สึกเหนื่อยเจ็บปวดกล้ามเนื้อ ที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยเปรียบเทียบตามแผนงาน สรุป จากข้อมูลแสดงความรู้สึกเหนื่อย เจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างทำงานหรือหลังเลิกงาน ที่มีขนาดรุนแรงที่สุดจำแนกเป็นรายแผนกพบว่า แผนกที่มีพนักงานที่มีระดับความเมื่อยล้าของพนักงานที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดที่จะต้องดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเป็นอันดับแรกคือ แผนกจัดส่งขาเข้า

ส่วนที่ 2 ข้อมูลความเมื่อยล้า การได้รับบาดเจ็บ และการเจ็บป่วยจากการทำงานพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโศค

ข้อมูลความเมื่อยล้า การได้รับบาดเจ็บ และการเจ็บป่วยจากการทำงานของกลุ่มตัวอย่างที่ปฏิบัติงานในศูนย์กระจายสินค้าบริโศค จำแนกตามอวัยวะ สรุป จากข้อมูล

แสดงความรู้สึกเหนื่อย เจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างทำงาน หรือหลังเลิกงาน ที่มีขนาดรุนแรงที่สุดจำแนกเป็นรายแผนก พบว่า แผนกที่มีพนักงานที่มีระดับความเมื่อยล้าของ พนักงานที่มีระดับความรุนแรงสูงสุดที่จะต้องดำเนินการ ปรับปรุงกระบวนการเป็นอันดับแรกคือ แผนกจัดส่งขาเข้า

ส่วนที่ 3 การออกแบบปรับปรุงท่าทางการทำงานในการ ปฏิบัติงานของพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโกล ก่อนปรับปรุง

ผลการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ด้วยการสังเกต (Observation Assessment)

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ท่าทางการทำงานของขั้นตอน การทำงานในแผนกจัดส่งขาเข้าโดยเลือกแบบประเมินให้ เหมาะสมกับท่าทางการทำงาน แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดัง ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบประเมินที่ใช้ในการสังเกตท่าทางการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	ท่าทางการทำงาน	แบบประเมินที่ใช้
1.การยืนยกกล่องวางบน คอนเวนเยอร์	ยืน ใช้ร่างกายท่อน บนและท่อนล่างใน การทำงานเป็นหลัก	REBA
2.การยืนป้อนลังเข้า เครื่องล้างลัง	ยืน	RULA
3.การยืนรับลังจากเครื่อง ล้างลัง	ยืน	REBA

การประเมินผู้วิจัยได้ทำการบันทึกภาพและวิดีโอเพื่อใช้ ในการประเมินท่าทางการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยทำ การประเมินตามลำดับขั้นตอนการทำงานของแผนกจัดส่งขา เข้า ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การยืนยกกล่องวางบนสายพานลำเลียง



ภาพที่ 1 แสดงการประเมินท่าทางการปฏิบัติงานด้วยเทคนิค REBA ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 การยืนป้อนลังเข้าเครื่องล้างลัง



ภาพที่ 2 แสดงการประเมินท่าทางการปฏิบัติงานด้วยเทคนิค RULA ในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 3 การยืนรับลังจากเครื่องล้างลัง



ภาพที่ 3 แสดงการประเมินท่าทางการปฏิบัติงานด้วยเทคนิค REBA ในขั้นตอนที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงระดับคะแนนการประเมินท่าทางการทำงาน

ขั้นตอนการทำงาน	ท่าทางการทำงาน	แบบ ประเมิน	ระดับ คะแนน	ความ เสี่ยง
1.การยืนยกกล่องวาง บนสายพานลำเลียง	ยืน, ใช้ร่างกาย ท่อนบนในการ ทำงานเป็นหลัก	REBA	12	สูง
2.การยืนป้อนลัง เข้าเครื่องล้างลัง	ยืน	RULA	7	สูง
3.การยืนรับลังจาก เครื่องล้างลัง	ยืน	REBA	11	สูง

หลังปรับปรุง

1. การปรับปรุงสถานที่งาน

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ 2 การยืนป้อน ลังเข้าเครื่องล้างลังโดยทำการปรับท่าทางการทำงานของแขน ส่วนบน แขนส่วนล่าง ข้อมือ และคอ ให้มีความเหมาะสม โดยให้ ระดับแขนอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องล้างลัง โดยการเสริมฐานการ ยืนของพนักงาน และให้มีปรับเปลี่ยนหรือหมุนเวียนพนักงานป้อน ลังเข้าเครื่องล้างลังเพื่อลดความเมื่อยล้าในการปฏิบัติงาน ส่งผลให้ ค่าคะแนน RULA จาก 7 คะแนน ลดลงเหลือ 5 คะแนน ทำให้ระดับ ความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ลดลงจากเดิม [6] ดังภาพที่ 4

ขั้นตอนที่ 2 การยืนป้อนลังเข้าเครื่องล้างลัง



ภาพที่ 4 แสดงการประเมินท่าทางการปฏิบัติงานด้วยเทคนิค RULA ในขั้นตอนที่ 2 (หลังปรับปรุง)

2.การอบรมให้ความรู้ด้านการยศาสตร์ให้กับพนักงาน

ผู้วิจัยได้จัดกิจกรรมอบรมพนักงานให้มีความรู้เกี่ยวกับด้านการยศาสตร์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานโดยให้พนักงานได้ฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับท่าทางการยกที่ถูกต้อง ดังภาพที่ 5 พร้อมทั้งระดมความคิดในการออกแบบท่าทางการทำงานที่เหมาะสม และจัดให้มีการทบทวนประจำปี โดยผู้เชี่ยวชาญจากภายนอก ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 แสดงการอบรมให้ความรู้ด้านการยศาสตร์ให้กับพนักงาน



ภาพที่ 6 แสดงการระดมความคิดในการออกแบบท่าทางการทำงานที่เหมาะสม

3.การจัดกิจกรรมยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มปฏิบัติงาน

จากการปรับปรุง ออกแบบสถานีงาน จึงได้มีการจัดกิจกรรมยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มปฏิบัติงานให้กับพนักงาน แผนกจัดส่งขาเข้า แผนกจัดสินค้า แผนกรับสินค้าและแผนกส่งมอบสินค้า โดยกิจกรรมนี้แบ่งท่าทางการยืดกล้ามเนื้อออกเป็น 10 ท่าทาง คือ ท่าที่ 1 ยืดกล้ามเนื้อไหล่ ท่าที่ 2 กล้ามเนื้อหลังแขน ท่าที่ 3 กล้ามเนื้อแขน ท่าที่ 4 ยืดกล้ามเนื้อด้านข้างลำตัว ท่าที่ 5 ยืดกล้ามเนื้อหลัง ท่าที่ 6 ยืดกล้ามเนื้อขา ท่าที่ 7 ยืดกล้ามเนื้อสะโพก ท่าที่ 8 ยืดกล้ามเนื้อขาด้านหลัง ท่าที่ 9 ยืดกล้ามเนื้อหน้าขา และท่าที่ 10 ยืดกล้ามเนื้อหน้าท้อง ระยะเวลาในการยืดกล้ามเนื้อใช้เวลาประมาณ 5-10 นาทีก่อนเริ่มงานทุกวัน ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงการจัดกิจกรรมยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มปฏิบัติงาน

4. ผลการประเมินความพึงพอใจของพนักงานแผนกจัดส่งขาเข้าศูนย์กระจายสินค้าบริโศคในการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงาน

จากการสำรวจระดับความพึงพอใจของพนักงานแผนกจัดส่งขาเข้า ของศูนย์กระจายสินค้าบริโศคในการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงาน ใน 3 ส่วน คือ การอบรมการยศาสตร์ การยืดกล้ามเนื้อก่อนการปฏิบัติงาน และการปรับปรุงสถานีงาน โดยในภาพรวมพบว่า พนักงานมีความพึงพอใจต่อการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก (4.2 คะแนน) และเมื่อตรวจสอบรายด้านพบว่าด้านที่พนักงานมีความพึงพอใจสูงสุดคือ ด้านการยืดกล้ามเนื้อก่อนการปฏิบัติงาน รองลงมาได้แก่ด้านการอบรมการยศาสตร์การการปฏิบัติงาน และด้านการปรับปรุงสถานีงาน โดยมีคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.2, 4.1 และ 4.0 คะแนน ตามลำดับ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงระดับความพึงพอใจของพนักงานแผนกจัดส่งขาเข้า
ของศูนย์กระจายสินค้าบริโกลในการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงาน
จำแนกรายด้านที่ประเมิน

ประเด็นความคิดเห็น	คะแนนเฉลี่ย	ความพึงพอใจ
ด้านการอบรมการยศาสตร์	4.1	มาก
1. เอกสารการอบรมเข้าใจและใช้ง่าย	4.3	
2. วิทยากรอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจน	4.2	
3. การสาธิต ทำให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น	4.1	
4. นำความรู้มาใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง	4.1	
ด้านจัดกิจกรรมการยืดกล้ามเนื้อก่อนการปฏิบัติงาน	4.2	มาก
5. เวลาที่ใช้มีความเหมาะสม	3.9	
6. ท่ากายบริหารที่ใช้มีความเหมาะสม	4.0	
7. กล้ามเนื้อคลายตัว ลดความเมื่อยล้าได้	4.5	
ด้านการปรับปรุงสถานงาน	4.0	มาก
8. ออกแบบสถานีงานได้ปลอดภัยเหมาะสม	3.9	
9. พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้จริง	4.2	
10. ลดความเมื่อยล้าในการปฏิบัติงานได้	4.0	
ระดับความพึงพอใจในภาพรวม	4.2	มาก

4. อภิปรายผล (Discussion)

การประเมินท่าทางการทำงานของพนักงานในศูนย์กระจายสินค้าบริโกล แผนกจัดส่งขาเข้า พบว่าขั้นตอนการทำงานทั้ง 3 ขั้นตอน มีค่าระดับความเสี่ยงสูงต้องได้รับการปรับปรุงในทันที ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ 2 การยื่นป้อนลังเข้าเครื่องล้างลัง โดยทำการปรับท่าทางการทำงานของแขนส่วนบน แขนส่วนล่าง ข้อมือ และคอ ให้มีความเหมาะสม และได้จัดกิจกรรมให้ความรู้ด้านการยศาสตร์ จัดกิจกรรมยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มปฏิบัติงาน และทำการประเมินความพึงพอใจของพนักงานต่อกิจกรรม

แผนกจัดส่งขาเข้า

ในขั้นตอนที่ 2 ของการปฏิบัติงาน พนักงานยื่นป้อนลังเข้าเครื่องล้างลัง พบว่าผู้ปฏิบัติงานมีท่าทางการทำงานของแขนส่วนบน แขนส่วนล่าง ข้อมือ และคอ ไม่เหมาะสม เนื่องจากต้องยื่นใช้แขนช่วยดันลังเข้าเครื่องล้างลังที่มีความสูงกว่าระดับเอวของพนักงาน และปฏิบัติงานในท่าทางนี้ตลอดเวลาการทำงาน ส่งผลให้ค่าคะแนน RULA มีค่าเท่ากับ 7

การปรับปรุง

1. ทำการปรับท่าทางการทำงานของแขนส่วนบน แขนส่วนล่าง ข้อมือ และคอ ให้มีความเหมาะสม โดยให้ระดับแขนอยู่ในระนาบเดียวกับเครื่องล้างลัง โดยการเสริมฐานการยืนของพนักงาน และให้ปรับเปลี่ยน/หมุนเวียนพนักงานยื่นป้อนลังเข้าเครื่องเพื่อลดความเมื่อยล้าในการปฏิบัติงาน ส่งผลให้ค่าคะแนน RULA จาก 7 คะแนน ลดลงเหลือ 5 คะแนน [7]

2. จัดให้มีการอบรมพนักงานให้มีความรู้เกี่ยวกับด้านกายศาสตร์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานโดยให้พนักงานได้ฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับท่าทางการยกที่ถูกต้อง

3. จัดกิจกรรมยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มปฏิบัติงานให้กับพนักงาน ใช้เวลาประมาณ 5-10 นาทีก่อนเริ่มงานทุกวัน

ระดับความพึงพอใจของพนักงาน ในการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงาน ใน 3 ส่วน คือ การอบรมการยศาสตร์ การยืดกล้ามเนื้อก่อนการปฏิบัติงาน และการปรับปรุงสถานีงาน โดยในภาพรวมพบว่า พนักงานมีความพึงพอใจต่อการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก (4.2 คะแนน)

แผนกจัดสินค้า ส่งมอบสินค้า รับสินค้า

รู้สึกเหนื่อย/เจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างการทำงาน/หลังเลิกงาน การปรับปรุง

1. จัดให้มีการอบรมพนักงานให้มีความรู้เกี่ยวกับด้านกายศาสตร์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานโดยให้พนักงานได้ฝึกปฏิบัติเกี่ยวกับท่าทางการยกที่ถูกต้อง

2. จัดกิจกรรมยืดกล้ามเนื้อก่อนเริ่มปฏิบัติงานให้กับพนักงาน ใช้เวลาประมาณ 5 -10 นาทีก่อนเริ่มงานทุกวัน

ระดับความพึงพอใจของพนักงาน ในการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงาน ในภาพรวมพบว่า พนักงานมีความพึงพอใจต่อการปรับปรุงท่าทางการปฏิบัติงานอยู่ในระดับมาก (4.2 คะแนน)

5. สรุปผล (Conclusion)

ความรู้สึกเหนื่อยและเจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างการทำงานหรือหลังเลิกงานของพนักงานแผนกจัดส่งขาเข้าก่อนและหลังการปรับปรุงสถานีงาน จำแนกตามส่วนของร่างกายที่มีความรู้สึกเหนื่อยและเจ็บปวดกล้ามเนื้อในระดับสูงสุด (ระดับมาก) พบว่า เมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงานแผนกจัดส่งขาเข้า พนักงานมีระดับความรู้สึกเหนื่อยและเจ็บปวดกล้ามเนื้อระหว่างการทำงานหรือหลังเลิกงานของทุกส่วนน้อยลงหลังการปรับปรุงจำนวนลดลงสรุปได้ว่าความรู้สึกเหนื่อยและเจ็บปวดกล้ามเนื้อที่ลดลงเกิดจากกระบวนการปรับปรุงสถานีงาน

ข้อเสนอแนะของการปรับปรุงลักษณะท่าทางการทำงานพนักงานศูนย์กระจายสินค้าบริโกล เพื่อลดระดับความเมื่อยล้าของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งข้อเสนอแนะออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการศูนย์กระจายสินค้าบริโกลและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต โดยมีรายละเอียดดังนี้

วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการศูนย์กระจายสินค้า
บริโศค

1. ควรมีการประเมินลักษณะท่าทางการทำงาน
ของพนักงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้
เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomics)
2. หากมีการปรับปรุงแก้ไขสถานงาน หรือ
ปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานใหม่ ควรประเมินความเสี่ยง
ของท่าทางการทำงานนั้น รวมถึงการประเมินระดับความพึง
พอใจ หรือให้พนักงานในส่วนงานนั้นเสนอแนะข้อคิดเห็น
หลังการปรับปรุง
3. การสำรวจข้อมูลความเมื่อยล้าและการ
เจ็บป่วยจากท่าทางการทำงาน โดยใช้แบบสอบถามทำให้
ข้อมูลที่ได้รับอาจมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นควรศึกษา
ทางการแพทย์ร่วมด้วย เช่น การตรวจอาการอักเสบของ
กล้ามเนื้อ จะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากขึ้น
4. ควรมีการตรวจสอบและติดตามผลสถิติการ
เข้าใช้ห้องพยาบาลของศูนย์กระจายสินค้าบริโศค หลังจากที่มี
การปรับปรุงแก้ไขแล้วมีแนวโน้มสาเหตุการเข้ารับบริการของ
พนักงาน ด้วยระบบกล้ามเนื้อและกระดูก ภายในศูนย์
กระจายสินค้าบริโศคว่าลดลงหรือไม่ตามที่มีการปรับปรุง
แก้ไขลักษณะท่าทางการทำงานและสถานงาน
5. การประเมินความเสี่ยงลักษณะท่าทางการ
ทำงานตามหลักกายศาสตร์ (Ergonomics) ด้วยวิธี RULA
และ REBA เป็นการประเมินท่าทางการทำงานด้วยระดับ
คะแนนโดยแยกออกเป็น ส่วน ซึ่งการนำแบบประเมินด้วยวิธี
ดังกล่าวไปใช้ต้องอาศัยการฝึกฝน และความชำนาญของผู้
วิเคราะห์ หากนำเครื่องมือวัดการทำงานของกล้ามเนื้อ เข้า
มาใช้ประกอบการประเมิน จะทำให้ผลการประเมินความ
เสี่ยงมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น
6. ควรมีการประเมินความเสี่ยงลักษณะท่าทาง
การทำงานตามหลักกายศาสตร์ (Ergonomics) ในแผนกอื่น
ที่มีสถิติการเข้าใช้ห้องพยาบาลจากอาการเกี่ยวกับระบบ
กล้ามเนื้อและกระดูกที่รองลงมาจากแผนกจัดส่งขาเข้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.
จเร เลิศสุดวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ให้
คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจ
แก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ กราบขอบพระคุณ
ผู้บริหาร หัวหน้างาน และพนักงานทุกท่านในการให้ร่วมมือ
ตลอดการดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ และกราบขอบพระคุณ
บุคลากรบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไข

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชมรมอาชีพอนามัยและความปลอดภัย มสธ., วิชาการที่
เป็นการปรับเปลี่ยนสภาพงานให้เหมาะสมกับปฏิบัติงาน.
จาก[http://www.safetechthailand.net/
wizContent.asp?wizConID=311&txtMenu_ID=7](http://www.safetechthailand.net/wizContent.asp?wizConID=311&txtMenu_ID=7).
(สืบค้นข้อมูล 2 มกราคม 2561)
- [2] อธิชา ยมเกิด และคณะ, การปรับปรุงท่าทางการนั่ง
ทำงานของพนักงานในอุตสาหกรรมที่มีติดด้วยหลักการย
ศาสตร์, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มช., ปี 22 ฉบับที่ 3,
2558.
- [3] งานรักษาพยาบาล, รายงานการเข้าใช้ห้องพยาบาลของ
พนักงาน ปี พ.ศ. 2557-2559, ศูนย์กระจายสินค้าบริโศค,
2560
- [4] Middlesworth M. A Step-by-Step Guide to Job
Rotation. Retrieved November 22, 2017 from
<http://ergo-plus.com/job-rotation/>
- [5] ISO. 2004. ISO/TS 20646-1 Technical
specification-ergonomic procedures for the
improvement of local muscular workloads-Part 1 :
Guidelines for reducing local muscular workloads.
Available Source:
[https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:20646:-
1:ed-1:v1:en](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:20646:-1:ed-1:v1:en), January 15, 2017.
- [6] สมาคมการยศาสตร์แห่งประเทศไทย, “การประเมิน
การทำงานเพื่อวิเคราะห์งานทางกายศาสตร์เบื้องต้น
ด้วยตนเองโดยใช้ RULA, 2552.
- [7] วัลลา รักษาแก้ว, การประเมินความเสี่ยงทางการย
ศาสตร์ของพนักงานแผนก Break Case ศูนย์กระจาย
สินค้า, วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมความปลอดภัย)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2558.

การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบโตโยต้าเพื่อเพิ่มผลผลิต
กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร
An Application of Toyota Production System to Productivity Improvement
A Case Study of Food Manufacturer

วุฒิพงษ์ ปะวะสาร

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

wuttipong@tni.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบเวลา และเพิ่มปริมาณผลผลิตของกระบวนการบรรจุ โดยนำหลักการของระบบการผลิตแบบโตโยต้า (TPS) มาประยุกต์ใช้ โดยมีขั้นตอน ดังนี้ ศึกษาภาพรวมของกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือผังการไหล (MIFC) ศึกษาขั้นตอนของกระบวนการบรรจุโดยใช้เครื่องมือแผนภาพงานมาตรฐาน (Standardized Work) ดำเนินการศึกษาเวลาการทำงานของพนักงานโดยใช้เครื่องมือการจับเวลา และข้อมูลที่ได้จากการทำงานมาวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพการวิเคราะห์ภาระงาน (Yamazumi Chart) นำสภาพปัญหาวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา ค้นหาแนวทางในการปรับปรุงในการลดความสูญเสียจากการทำงานและลดเวลาในการทำงานของพนักงาน โดยการจัดทำ Continuous Flow ของกระบวนการบรรจุ ลดรอบเวลา (C.T.) เพื่อทำการปรับภาระงานและกำหนดให้เป็นมาตรฐานในการทำงาน ผลการศึกษาความเป็นไปในการลดรอบเวลาในการบรรจุพบว่ารอบเวลามากกว่ารอบเวลาการผลิตต่อหน่วยความต้องการของลูกค้า (T.T.) โดยมีคอขวด อยู่ที่กระบวนการบรรจุ ก่อนปรับปรุง รอบเวลามีค่าเท่ากับ 34 วินาทีต่อกล่อง หลังปรับปรุงลดลงเหลือ 22 วินาทีต่อกล่อง ผลคือทำให้ รอบเวลามีค่าเท่ากับรอบเวลาการผลิตต่อหน่วยความต้องการของลูกค้า (T.T.) และเพิ่มปริมาณผลผลิตจาก 1,164 กล่องต่อวันเพิ่มขึ้นเป็น 1,800 กล่องต่อวัน

คำสำคัญ (Key word): ระบบการผลิตแบบโตโยต้า ; กระบวนการบรรจุ

1. บทนำ (Introduction)

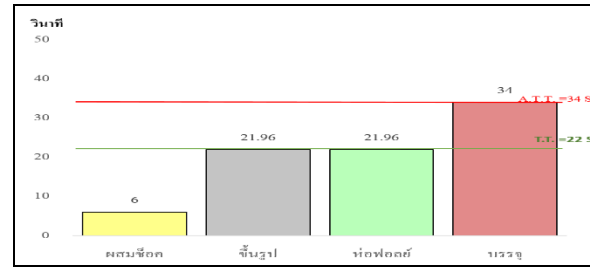
บริษัท ตรีศึกษาเป็นผู้ผลิตและส่งออกอาหาร ประเภทขนมซ็อกโกแลต กระบวนการผลิตหลักๆ คือ ขึ้นรูป ห่อฟอล์ย บรรจุ โดยสภาพปัจจุบันของโรงงาน สายการผลิต มีการหยุดชะงักระหว่างการผลิต ทำให้เกิดงานกองระหว่างระหว่างกระบวนการทำให้ทางบริษัทฯ มีสภาพการทำงานในบางส่วนยังไม่สะดวกต่อการดำเนินงาน รวมถึงเรื่องความสามารถของพนักงานในการปฏิบัติงาน ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ซึ่งมีอยู่ 3 ส่วน คือ กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์โดยเครื่องจักร กระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์โดยพนักงาน และการปรับปรุงพื้นที่การทำงานในกระบวนการบรรจุ ดังนั้นจึงต้องมีการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา และนำระบบ Toyota Production System (TPS) มาเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดรอบเวลาในการบรรจุ และเพิ่มปริมาณผลผลิต

2. วิธีวิจัย (Research Methodology)

- ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาภาพรวมกระบวนการผลิต เครื่องมือที่ใช้คือ Material & Information flow chart (MIFC)
- ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาลำดับกระบวนการบรรจุของพนักงาน เครื่องมือที่ใช้คือ แผนภาพงานมาตรฐาน
- ขั้นตอนที่ 3 ดำเนินการศึกษาเพื่อหาเวลาการทำงานของพนักงาน เครื่องมือที่ใช้ Time Measurement
- ขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการวิเคราะห์เวลาการทำงานของพนักงานเครื่องมือที่ใช้คือ Yamazumi chart
- ขั้นตอนที่ 5 นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงาน เครื่องมือที่ใช้ Worksite control check sheet , ECRS และ Fishbone Diagram
- ขั้นตอนที่ 6 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการบรรจุซ็อกโกแลต เครื่องมือที่ใช้คือ Standardized Work , Time Measurement, MIFC และ Yamazumi chart (After)
- ขั้นตอนที่ 7 นำเสนอผลที่ได้จากการปรับปรุง เครื่องมือที่ใช้คือ Standardized Work ,Time Measurement, MIFC และ Yamazumi

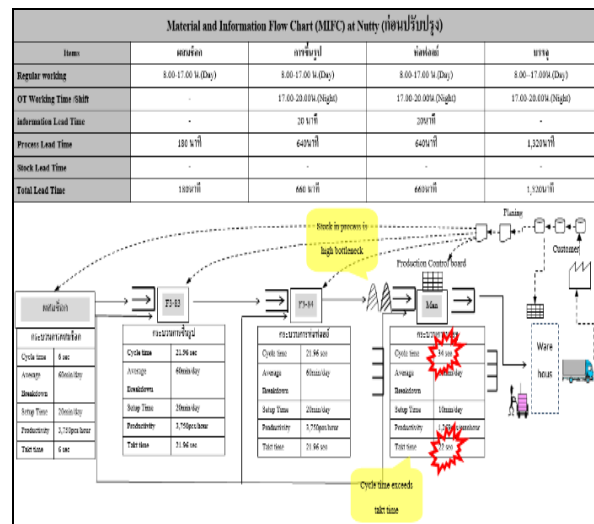
3. ผลและการอภิปรายผล (Results and Discussion)

กระบวนการผลิตมีทั้งหมด 4 กระบวนการ ได้แก่ ผสมช็อก ขึ้นรูป ห่อฟอล์ย และบรรจุ โดยมีเวลาการทำงานต่อกล่องของแต่ละขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 Yamazumi chart กระบวนการผลิต
(ก่อนปรับปรุง)

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าเวลาทำงานของทั้ง 4 กระบวนการ กระบวนการที่ใช้เวลาทำงานมากที่สุด คือ กระบวนการบรรจุใช้เวลา 34 วินาทีต่อกล่อง เกินค่า Takt Time ที่เท่ากับ 22 วินาทีต่อกล่อง ทำให้ค่า C.T. มีค่าสูงกว่า T.T.



ภาพที่ 2 Material & Information Flow Chart
(ก่อนปรับปรุง)

จากภาพที่ 2 กระบวนการต่างๆของการผลิต ซึ่งพบจุดที่เป็นปัญหาคือกระบวนการผลิตมีเวลาในการบรรจุนาน และมีงานค้างในกระบวนการมากเกินไป คือ สถานีงานที่ 4: บรรจุใช้เวลา 1,320 นาที จะเห็นได้ว่าเกิดคอขวดที่สถานีงานที่ 4 เกิดความล่าช้าในการบรรจุ

ภาพที่ 3 แผนภาพงานมาตรฐานของพนักงานในกระบวนการบรรจุนี้แสดงให้เห็นถึงการทำงานของแต่ละคนในการทำงาน

Line: F3-S1	Model: Nany	Work Description: 161/2016	From: 01/11/59	To: ชิงกีฬารูป	Production Section (Change Over):
Standardized Work 					
Quality Check: ☒	Safety Caution: ☒	Std. Stock: 300	Stock In Pro: 300	Cycle: 34	Takt: 22

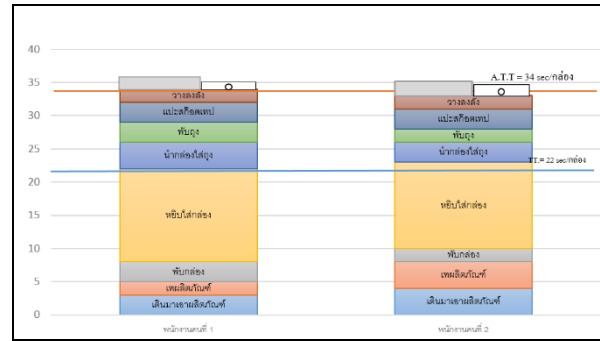
ภาพที่ 3 Standardized Work (ก่อนปรับปรุง)

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการบรรจุขั้นตอนที่ 1 พนักงานต้องเดินมาเอาผลิตภัณฑ์จากเครื่องหล่อเพื่อไปบรรจุ ขั้นตอนที่ 2 พนักงานต้องเทผลิตภัณฑ์ที่บรรจุลงบนโต๊ะ ขั้นตอนที่ 3 พนักงานต้องพับกล่องใส่ผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนที่ 4 พนักงานต้องนับผลิตภัณฑ์ใส่บรรจุภัณฑ์จำนวน 12 ชิ้น ขั้นตอนที่ 5 พนักงานนำผลิตภัณฑ์ใส่ถุงขั้นตอนที่ 6 พนักงานพับถุง ขั้นตอนที่ 7 พนักงานแปะสติกเกอร์ขั้นตอนที่ 8 พนักงานนำวางลงลัง

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลการจับเวลาของกระบวนการบรรจุ (ก่อนปรับปรุง)

Item	Time Measurement Sheet (Before)										Max	Min	Fluctuation	Average
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
เดินมาเอาผลิตภัณฑ์ที่หล่อ	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	1	3
เทผลิตภัณฑ์ใส่บรรจุ	2	3	4	3	3	4	2	3	4	4	4	2	2	3
พับกล่อง	3	3	2	4	4	4	4	5	4	4	5	2	3	4
หยิบใส่กล่อง	14	14	13	12	13	12	13	13	12	12	14	12	2	13
นำกล่องใส่ถุง	4	3	3	3	3	3	3	2	3	3	4	2	2	3
พับถุง	3	4	2	2	2	3	2	3	3	3	4	2	2	3
แปะสติกเกอร์	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	1	3
วางสินค้าใส่ลังบรรจุ	2	2	2	3	3	3	2	3	2	3	3	2	1	3
Total	34	36	33	34	34	35	33	36	34	35	42	28	14	34.4

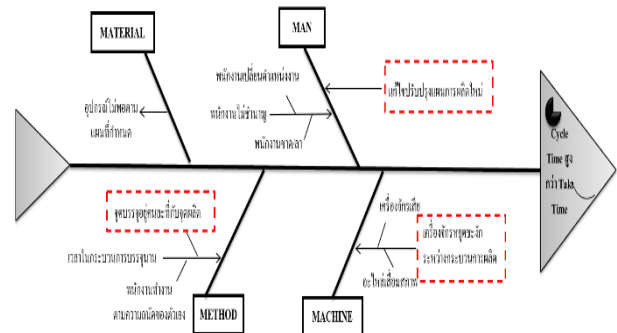
จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่ากระบวนการบรรจุ มีกระบวนการ 8 กระบวนการ ใช้เวลาทั้งหมด 34 วินาที การวิเคราะห์ว่าเวลาทำงานของพนักงานคนใดมีค่ามากกว่า Takt Time เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงเพื่อลดเวลาในการบรรจุ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 Yamazumi Chart ก่อนปรับปรุง

จากภาพที่ 4.4 พบว่ารอบเวลาการบรรจุเท่ากับ 34 วินาที ต่อกล่อง จะเห็นว่ามีเวลาการทำงานเกินค่า Takt Time โดย Takt Time เท่ากับ 22 วินาทีต่อกล่อง ได้รวบรวมปัญหาที่เกิดขึ้น ดังนี้
 [1] ในมาตรฐานไม่มีการอัปเดตการใช้เครื่องจักร
 [2] ไม่มีการรับรู้ถึงแผนการผลิตที่มองเห็นและเข้าใจง่าย
 [3] รอบเวลาในการบรรจุสูง

โดยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุถึงปัญหาการบรรจุล่าช้า แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากแผนภาพการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยก้างปลาพบว่า มีคามสูญเสียไปจากการเคลื่อนที่ จึงแสดงให้เห็นถึงสาเหตุต่างๆที่เป็นปัญหา ซึ่งต้องทำการแก้ไขเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบรรจุ

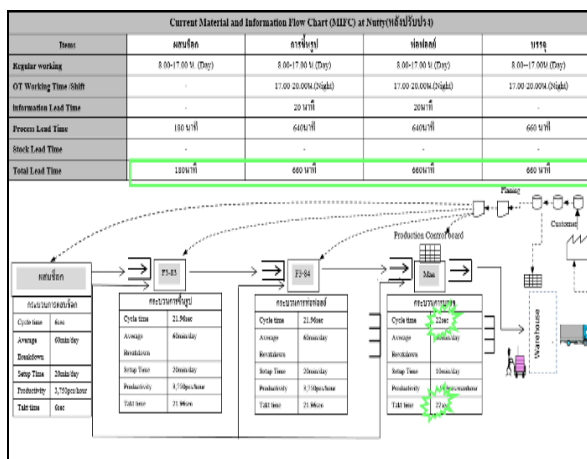
ตารางที่ 2 ตารางแสดงปัญหาและวิธีการแก้ไขโดยใช้หลักการ ECRS

ลำดับ	ปัญหา	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ	เป้าหมาย
1	เวลาในการบรรจุลำช้า	ECRS E-ตัดขั้นตอนการเคลื่อนที่ การยกของเคลื่อนที่ การเดินของรถยก S-ปรับปรุงให้ทันตามความต้องการ	คุณอรรถวิทย์, สิมสรณ์	15/1/1959
2	ไม่มีการรับรู้ถึงแผนการบรรจุ	ECRS S-จัดทําบอร์ดวางแผนการบรรจุ	คุณอรรถวิทย์, สิมสรณ์	19/1/1959
3	เครื่องจักรขัดข้อง	ECRS S-ปรับปรุงให้ จัดทํา P1 ขึ้นใหม่ จัดทําภาพงานและภาพไทย	คุณอรรถวิทย์, สิมสรณ์	10/2/1959

จากตารางที่ 2 แสดงการวิเคราะห์โดยใช้หลักการ ECRS คือ

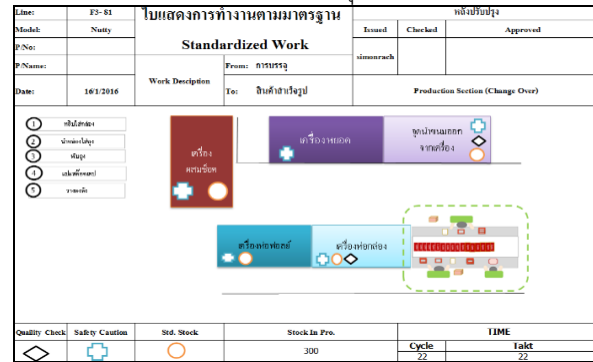
- ปัญหาที่ 1 เวลาในการบรรจุลำช้า เวลาในการบรรจุสูง ทำให้ต้องมีการทำงานนอกเวลา สาเหตุของปัญหา คือเกิดความสูญเสียในการทำงาน จุดบรรจุกับจุดผลิตอยู่คนละจุด วิธีการแก้ไข จัดทำ Continuous flow
- ปัญหาที่ 2 ไม่มีการรับรู้ถึงแผนการผลิตที่มองเห็นและเข้าใจง่าย วิธีแก้ปัญหาคือ จัดทำบอร์ดวางแผนการบรรจุ
- ปัญหาที่ 3 เครื่องจักรขัดข้อง พนักงานใหม่ที่เข้ามาทำงาน ไม่รู้วิธีการใช้เครื่องจักรที่ถูกต้อง ส่งผลให้เครื่องจักรเสียหายขัดข้องระหว่างการผลิต โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลประจำวัน เดือน ค.ค 2558 มีจำนวนใบแจ้งซ่อม 149 ใบ เวลาซ่อมต่อเครื่อง เท่ากับ 49.7 นาที ทำให้มีค่าใช้จ่าย ปี 2558 เป็นเงิน 76,351 บาท ส่งผลลดต้นทุนการผลิต วิธีแก้ปัญหาคือ จัดทำ Work Instruction เรื่องการเปิดปิด เครื่องจักร การทำความสะอาดเครื่องจักร เพื่อให้ง่ายต่อการสอนงาน และสื่อสารให้เข้าใจโดยง่าย

ปัญหาที่ 1 เวลาในการบรรจุลำช้า เวลาในการบรรจุสูง หลังการปรับปรุง จะเห็นว่าการลดเวลาการทำงาน (Cycle Time) ของกระบวนการผลิตขึ้นจากเดิม โดยเวลาการทำงานจากเดิมทั้งหมด 1,320 ลดลงเหลือ 660 นาที



ภาพที่ 5 Material and Information Flow Chart

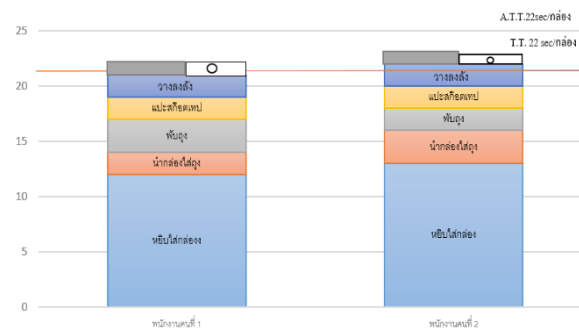
(หลังปรับปรุง)



ภาพที่ 6 Standardized Work

(หลังปรับปรุง)

การศึกษารอบเวลา หลังการปรับปรุงการเก็บข้อมูลการจับเวลาของกระบวนการบรรจุ (หลังปรับปรุง) จะเห็นได้ว่ากระบวนการบรรจุ มี 5 ขั้นตอน ใช้เวลาจากเดิมทั้งหมด 34 วินาที หลังปรับปรุงใช้เวลาในการบรรจุลดลงเหลือ 22 วินาที



ภาพที่ 7 แผนภาพวิเคราะห์การะงาน (หลังปรับปรุง)

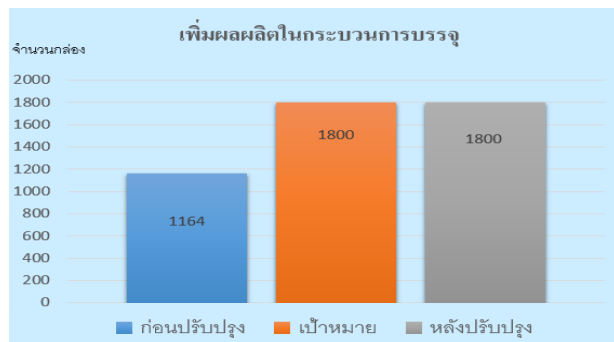
จากภาพที่ 7 พบว่ารอบเวลาการบรรจุของพนักงานหลังการปรับปรุงการบรรจุหน้าเครื่องห่อกล่อง เวลาในการบรรจุของพนักงานลดลงเหลือ 22 วินาที ต่อก่อน จากเดิม 34 วินาที ต่อก่อน ส่งผลให้ผลผลิตของพนักงานเพิ่มขึ้น

จากการปรับปรุง และแก้ไข จึงจัดทำมาตรฐานในกระบวนการบรรจุ โดยจัดหน้าที่ในการบรรจุให้พนักงาน 2 คนมีหน้าที่ในการบรรจุ และพนักงาน 1 คนมีหน้าที่ในการพักกล่องและป้อนให้แก่พนักงานบรรจุ

4. สรุปผล (Conclusion)

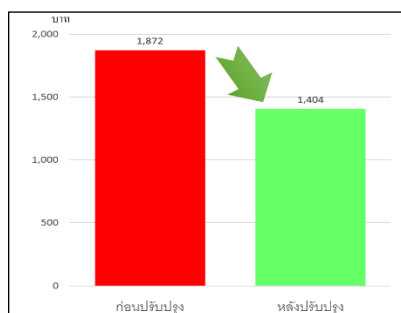
จากปัญหาคะบวนการบรรจุเวลาในการผลิตลำช้า ทำให้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการส่งมอบ และการเปิดชั่วโมงการทำงานล่วงเวลาจึงทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการบรรจุโดยใช้ทฤษฎีของ TPS และ ECRS ทำให้รอบเวลาการบรรจุจากเดิมพนักงานใช้เวลาในการบรรจุ 34 วินาที ต่อก่อน เป็น 22 วินาทีต่อก่อน แสดงดังแผนภูมิที่ 5.1

และผลผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 1,164 กล้องต่อคน เป็น 1,800 กล้องต่อคน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย แต่ทั้งนี้ จากภาพที่ 2 MIFC จะเห็นได้ว่ายังมีความสูญเสียในการบวนการผลิต เช่น การปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่หนึ่งและที่สอง ยังมีระยะเวลาที่มากถึง 20 นาทีต่อวัน จึงเป็นโอกาสในการปรับปรุงต่อไป



ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงผลผลิตในการบรรจุ (หลังปรับปรุง)

หลังการปรับปรุงจะเห็นว่าชั่วโมงการทำงานลดลงจาก 1,320 ชั่วโมง เหลือ 660 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำงานลดลงแสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงต้นทุนจากการผลิต
(หลังปรับปรุง)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1]ภาณุมาศ ชุ่มชื่น, 2555, การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบโตโยต้าในสายการผลิตต้นแบบ, วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น
- [2]จักรพันธ์ สิริคุตตานันท์, 2554, การประยุกต์ใช้ Standardized Work ของระบบ TPS ในการปรับปรุงสายการผลิต, วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น
- [3]ศิริธัญญ์ นนทะเกตุ, 2556, การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตด้วยการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบโตโยต้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น

[4]พฤทธิพงศ์ โพธิ์ราพรรณ, 2548, การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง-แบบช่วง), วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[5]พิมพ์ชนก ไพศาลภานุมาศ, 2550, การลดระยะเวลาในการผลิตในโรงงานผลิตเลนส์แว่นตาโดยใช้แนวคิดลีนซิกซ์ซิกมา, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์

การเปรียบเทียบความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรม อิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและประเทศเวียดนาม The Comparison of Competitive Advantage in Manufacturing for Electronics Industry between Thailand and Vietnam

วัชรพงษ์ พินิตธารัง¹, ธนัตถ์นันท์ สุขโขคนิธิโกศล², ภัทรารักษ์ แก้วพลายงาม³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
visionwpg@hotmail.com

² คณะบริหารธุรกิจ สถาบันรัชต์ภาคย์ tt30_mod@hotmail.com

³ คณะบริหารธุรกิจ สถาบันรัชต์ภาคย์ visionwpg@yahoo.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพทั่วไปเกี่ยวกับการผลิต การค้าระหว่างประเทศของสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และเปรียบเทียบความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและประเทศเวียดนาม โดยที่การศึกษานี้ใช้ทฤษฎีความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันของ ไมเคิล อี. พอร์เตอร์ เป็นแนวทางหลักในการวิเคราะห์ ร่วมกับการคำนวณหาค่าดัชนีความได้เปรียบในเชิงแข่งขันในแต่ละปัจจัยของประเทศไทยเปรียบเทียบกับปัจจัยของประเทศเวียดนาม นำเสนอข้อมูลชุดข้อมูลที่ได้รับการเก็บรวบรวมข้อมูลและเอกสารจากแหล่งต่างๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า ประเทศไทยเสียเปรียบในด้านปัจจัยการผลิต และปัจจัยความต้องการภายในประเทศ ส่วนปัจจัยที่ประเทศไทยได้เปรียบก็คือปัจจัยอุตสาหกรรมสนับสนุนและเกี่ยวเนื่องในประเทศและปัจจัยกลยุทธ์ โครงสร้างและสภาพการแข่งขันในประเทศ จากการวิเคราะห์ความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบปัจจัยในแต่ละปีในช่วงปี พ.ศ.2557-2561 พบว่าประเทศไทยได้เปรียบในการแข่งขันการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มากกว่าประเทศเวียดนาม แต่มีแนวโน้มได้เปรียบลดลงอย่างต่อเนื่องและเสียเปรียบโดยเปรียบเทียบกับประเทศเวียดนามในปี พ.ศ.2561 ดังนั้นประเทศไทยควรมีมาตรการ เช่น พัฒนาฝีมือแรงงาน สร้างเทคโนโลยีใหม่เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า และการรักษาคุณภาพทางเศรษฐกิจของประเทศ เป็นต้น

คำสำคัญ : การแข่งขัน การผลิต อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ประเทศเวียดนาม

ABSTRACT

This Report aims to study the general conditions of the production, the international trade, and the comparative advantage in the electronics manufacturing industry between Thai and Vietnam. Michael E. Porter's competitive advantage theory was utilized in this study as the main approach together with calculation of the index of competitive advantage in each of Thailand's factors compared to Vietnam's. The secondary data from data collection and documentation obtained from various sources were also presented. The results show that Thailand is disadvantageous in terms of production factors and domestic demand factors. However, Thailand has the advantage over Vietnam in terms of domestic related and supportive industries, and firm strategy, and domestic structure and rivalry, Analysis of the

comparative advantages of each year factors in the year 2014-2018 shows that Thailand has competitive advantage over Vietnam in electronics manufacturing industry. Nevertheless, this competitive advantage appears to decrease steadily when compared to Vietnam and Thailand becomes disadvantageous in 2018. Therefore, Thailand should take measures such as develop skilled-labor, create new technologies for increasing the value of goods and maintain the economic equilibrium of the country.

Key Words: Competition, Manufacturing, Electronics Industry, Vietnam

1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาของทวีปเอเชีย ซึ่งรายได้หลักของประเทศมาจากการส่งออกสินค้าและบริการให้กับชาวต่างชาติ โดยเฉพาะการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมมีมูลค่ามากถึงร้อยละ 78.7 ของการส่งออกทั้งหมดของประเทศ (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2562) ทั้งนี้ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2548 ประเทศไทยให้ความสำคัญกับนโยบายการส่งเสริมอุตสาหกรรมสำหรับการส่งออกเพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพการแข่งขันให้เท่าเทียมกับประเทศในกลุ่มประเทศพัฒนาอุตสาหกรรมใหม่ (NIES) ที่เน้นการลงทุนให้ความสำคัญกับทุนและเทคโนโลยี การผลิต การคิดค้นผลิตภัณฑ์ใหม่ การส่งเสริมการลงทุนในด้านของการวิจัย ในขณะที่ประเทศในกลุ่มอาเซียน ได้แก่ เมียนมาร์ ลาว กัมพูชา เวียดนามและอินโดนีเซีย จะเป็นการลงทุนในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ส่งผลให้กลุ่มประเทศอาเซียนได้รับความสนใจเป็นฐานการผลิตและส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ จากนโยบายและมาตรการของรัฐบาลอย่างต่อเนื่อง จนถึงนโยบายไทยแลนด์ 4.0 ที่กำหนดขึ้นในรัฐบาลพลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2562)

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยสามารถทำรายได้จากการส่งออกให้กับประเทศไทยได้มูลค่าสูง อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนทำให้เกิดการจ้างงานอย่างมากในประเทศไทย ทั้งนี้ประเทศไทย นับเป็นประเทศที่จัดได้ว่ามีศักยภาพในด้านปัจจัยการผลิตไม่ว่าจะเป็นทางด้านทรัพยากรมนุษย์ ความรู้ ความสามารถ โดยมีการพัฒนา ลักษณะการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้นและเมื่อวิเคราะห์ทางด้านภูมิศาสตร์ พบว่า ประเทศไทยมีความได้เปรียบเชิงการค้าในภูมิภาคอินโดจีนและเป็นศูนย์กลางของภูมิภาค จึงเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลเชิงบวกในด้านการขนส่ง ซึ่งอัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการขยายตัวอย่างก้าวกระโดดอย่างมาก อย่างไรก็ตามประเทศไทย ยังขาดศักยภาพในการแข่งขันด้านนวัตกรรม ความหลากหลายเชิงสร้างสรรค์ ค่าจ้างแรงงาน และปัญหาด้านการเมือง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศคู่แข่งที่สำคัญในภูมิภาคเดียวกันที่กำลังพัฒนาประเทศเพื่อสร้างความได้เปรียบด้านต่างๆ ข้างต้น ซึ่งประเทศที่มีการพัฒนาได้อย่างรวดเร็วและจะเป็นคู่แข่งที่สำคัญของไทยในอนาคตคือประเทศเวียดนาม (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2561)

ในปี พ.ศ.2558 การรวมตัวกันของกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน เกิดการผลักดันให้ประเทศชาติสมาชิกรวมตัวเป็นเขตการผลิตเดียวกันของภูมิภาคอาเซียนที่

สามารถใช้ทรัพยากรจากประเทศต่างๆ ของกลุ่มสมาชิกมาเป็นทรัพยากรในการผลิตได้ เพิ่มอำนาจในการผลิตสินค้าจากทรัพยากรราคาถูกของประเทศสมาชิกและเพิ่มอำนาจการเจรจาการค้าระหว่างประเทศกับประเทศนอกกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน จึงเป็นผลดีกับประเทศไทยในการใช้วัตถุดิบที่มีราคาถูกจากประเทศภายในกลุ่มสมาชิก แต่อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไทยยังมีการสูญเสียส่วนครองตลาดให้กับประเทศในกลุ่มอาเซียนด้วยกัน คือประเทศเวียดนาม (Leung: 2010) ที่มีมูลค่าการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นจากเดิมถึงร้อยละ 42.56 จากปี พ.ศ.2555 (กรมส่งเสริมการส่งออก, 2561) โดยสาเหตุสำคัญที่ทำให้ประเทศเวียดนามมีมูลค่าการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากบริษัทต่างชาติเข้ามาลงทุนในเวียดนามเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะบริษัทซัมซุงที่เข้าไปลงทุนในธุรกิจโทรศัพท์เคลื่อนที่และเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้น การเปรียบเทียบความได้เปรียบในเชิงการแข่งขันด้านการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยกับประเทศเวียดนามจึงเป็นส่วนสำคัญแก่ผู้ผลิตภาคเอกชนและภาครัฐของไทยในการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นและหาโอกาสในการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อการอยู่รอดในสภาพอุตสาหกรรมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วและเพิ่มขึ้นอย่างก้าวกระโดดต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย (Research Objective)

2.1 เพื่อศึกษาสภาพทั่วไปเกี่ยวกับการผลิต และการค้าระหว่างประเทศของสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไทยและเวียดนาม

2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความได้เปรียบเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและประเทศเวียดนาม

3. วิธีวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำข้อมูลทุติยภูมิ ที่มีการเก็บรวบรวมเป็นอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นการรวบรวมสภาพทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตและการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบของการแข่งขันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยกับประเทศเวียดนาม ในช่วงเวลา 5 ปี คือ พ.ศ. 2557-2561 โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ อาทิ กรมเจรจาการค้าระหว่างประเทศ กรมศุลกากร กระทรวงพาณิชย์ กระทรวงอุตสาหกรรม ธนาคารแห่งประเทศไทย ธนาคารโลก ศูนย์อาเซียนศึกษา หนังสือวิชาการ บทความต่างๆ ตลอดจนเครือข่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ จาก

แหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศ โดยรวบรวม
ข้อมูลที่สำคัญ ดังนี้

3.1 ข้อมูลตัวชี้วัดค่าแรงขั้นต่ำของประเทศไทย
รวบรวมจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ค่าแรงขั้นต่ำของ
ประเทศเวียดนาม มีที่มาจากเว็บไซต์ออนไลน์ของหน่วยงาน
IECONOMICS Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.2 ข้อมูลราคาต้นทุนของเวเฟอร์วงจรพิกัดสินค้า
ศุลกากร HS 38.18 รวบรวมจาก Information and
Communication Technology Center with
Cooperation of the Customs Department เป็นข้อมูล
มูลค่าการนำเข้าเวเฟอร์วงจรของประเทศไทย และประเทศ
เวียดนาม จากประเทศต่างๆ ทั่วโลก

3.3 ข้อมูลมูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของ
ประเทศไทย และประเทศเวียดนาม พิกัดสินค้า HS 85
รวบรวมจากศูนย์บริการข้อมูลประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน
สังกัดกระทรวงพาณิชย์กับ International Trade Centre

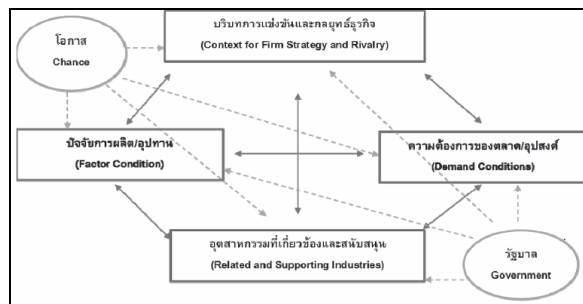
3.4 ข้อมูลมูลค่าความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์
ภายในประเทศไทยกับประเทศเวียดนาม รวบรวมข้อมูลจาก
ผลรวมของมูลค่าสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขั้นสุดท้าย
ที่มีการนำเข้ามาจำหน่ายในประเทศไทยและประเทศ
เวียดนาม โดยรวบรวมข้อมูลจาก International Trade
Centre

3.5 ข้อมูลอำนาจการต่อรองของผู้ขายของประเทศไทย
และประเทศเวียดนาม โดยใช้ข้อมูล คือ จำนวนประเทศที่มี
การส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ รวบรวมจาก ITC
calculations based on UN COMTRADE statistics

3.6 ข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนและข้อมูลอัตราดอกเบี้ย
เงินกู้ของประเทศไทยและประเทศเวียดนามจากข้อมูลของ
ธนาคารโลก

3.7 ข้อมูลภาวะการผลิต การจำหน่ายภายใน และ
การค้าระหว่างประเทศของประเทศไทยและประเทศ
เวียดนาม

โดยการศึกษาครั้งนี้ นำตัวแบบเพชร (Diamond
Framework) ของไมเคิล อี พอร์เตอร์ (Michael E. Porter)
มาเป็นกรอบในการศึกษาถึงการแข่งขันของไทยและ
เวียดนาม โดยมีลักษณะของตัวแบบ ดังภาพนี้



โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา คือ 1) ด้านปัจจัยการผลิต 2)
ด้านอุปสงค์ 3) ด้านสิ่งสนับสนุนและเกี่ยวข้อง และ 4) ด้าน
กลยุทธ์ โครงสร้างและสภาพการแข่งขัน

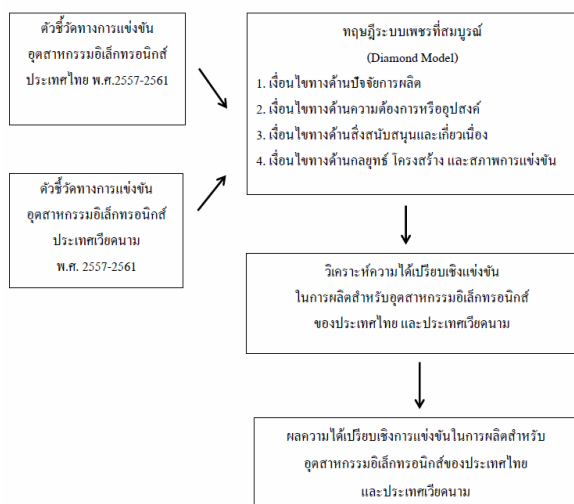
การวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาศาภาพทั่วไปเกี่ยวกับการผลิต และการค้า
ระหว่างประเทศของสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ไทย
และเวียดนาม วิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลเชิงคุณภาพ
(Qualitative Research) ที่ทำการเก็บข้อมูลจากงานวิจัยที่
เกี่ยวข้อง, การค้นคว้าเอกสาร, การวิเคราะห์โดยการ
พรรณนา และสรุปเป็นความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในสาขา
ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น นำเสนอในเชิงพรรณนาให้เห็นถึงสภาพ
การผลิต การค้าระหว่างประเทศ และนโยบายของรัฐบาล

วิธีการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Analysis)
โดยนำข้อมูลทฤษฎีที่ได้จากการเก็บรวบรวมจากหน่วยงาน
ต่างๆ อาทิ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, สำนักงานเศรษฐกิจ
อุตสาหกรรม, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสา
นักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์โดยความร่วมมือจากกรม
ศุลกากร, ธนาคารแห่งประเทศไทย ฯลฯ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิง
ปริมาณ (Quantitative Research) ทาการวิเคราะห์สภาพ
ทั่วไปรวมถึงความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบในแข่งขันของ
อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยกับประเทศ
เวียดนามตามหลักของ Diamond Model ดังนี้

ปัจจัยการวิเคราะห์	ตัวชี้วัด	ผลกระทบ
ด้านปัจจัยการผลิต	1. ค่าแรงงานขั้นต่ำ 2. ราคาต้นทุนของเวเฟอร์	ผลกระทบด้านลบ
ด้านอุปสงค์	1. มูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ 2. มูลค่าความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศ	ผลกระทบด้านบวก
ด้านสิ่งสนับสนุนและ เกี่ยวเนื่อง	1. ปริมาณการนำเข้าเวเฟอร์วงจร 2. อำนาจการต่อรองของผู้ขาย	ผลกระทบด้านบวก
ด้านกลยุทธ์ โครงสร้างและ สภาพการแข่งขัน	1. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 2. อัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา ดอลลาร์สหรัฐ (เงินตราของประเทศส่งออก)	ผลกระทบด้านลบ

ทั้งนี้การศึกษาดังกล่าวสามารถกำหนดในรูปแบบของ
กรอบแนวคิดทางการวิจัยได้ดังนี้



โดยผู้วิจัยร่วมวิเคราะห์ข้อมูลในลักษณะการตัดสินใจ กลุ่ม (Group Decision Making) ร่วมกับนักวิชาการและผู้เชี่ยวชาญด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม จำนวน 3 คน

4. ผลการวิจัย (Results)

การศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ 1 การศึกษาสภาพทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตและการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยและเวียดนาม พบว่า โครงสร้างการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยและเวียดนาม มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โดยเน้นการผลิตเพื่อส่งออกสินค้าขั้นสุดท้าย แต่ปัจจัยการผลิตที่สำคัญที่อยู่ในอุตสาหกรรมต้นน้ำ คือ เวเฟอร์วงจร จะต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศในปริมาณที่สูง เนื่องจากประเทศไทยและประเทศเวียดนามยังไม่สามารถผลิตเวเฟอร์วงจรที่มีคุณภาพสูง ซึ่งเป็นวัตถุดิบส่วนสำคัญในการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ได้

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ได้รับการยอมรับในด้านมาตรฐานสินค้าที่มีคุณภาพสูง สินค้าส่งออกที่สำคัญประกอบด้วย ฮาร์ดดิสก์ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ และโทรทัศน์ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสินค้าที่ใช้ในครัวเรือน ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความต้องการที่เปลี่ยนไป ลดการใช้คอมพิวเตอร์และโน้ตบุ๊กคลดลง ทำให้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ โดยเฉพาะฮาร์ดดิสก์ที่ประเทศไทยมีการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลกลดลงตามไปด้วย ส่งผลกระทบให้มูลค่าการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยลดลงในช่วงปีหลัง ๆ

ประเทศเวียดนาม รัฐบาลประเทศเวียดนามมีการกำหนดนโยบายส่งเสริมการลงทุนทางตรงของนักลงทุนจากต่างประเทศ โดยให้สิทธิพิเศษในหลาย ๆ ด้าน แก่นักลงทุนที่เข้ามาลงทุนในประเทศเวียดนามโดยเฉพาะการลงทุนในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าเพื่อส่งออกไปจำหน่ายยัง

ต่างประเทศ สามารถได้รับสิทธิพิเศษในการไม่เสียค่าเช่าที่ดินยาวนานถึง 70 ปี ซึ่งขึ้นอยู่กับการลงทุนของต่างชาติ ต้องลงทุนในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่ประเทศเวียดนามต้องการ ทำให้บริษัทข้ามชาติหลายรายจาก ญี่ปุ่นและเกาหลีใต้ เข้ามาลงทุนทางตรงในประเทศเวียดนามเพื่อเป็นฐานการผลิตสินค้าเพื่อส่งออก โดยเฉพาะ บริษัทซัมซุงซึ่งได้ทำการจำหน่ายสินค้าอิเล็กทรอนิกส์หลากหลายรายการ โดยเฉพาะ โทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน แท็บเล็ตคอมพิวเตอร์และโน้ตบุ๊ก ส่งผลให้ประเทศเวียดนามสามารถเพิ่มมูลค่าการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างก้าวกระโดด และมีแนวโน้มในการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

การศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่ 2 การศึกษาเปรียบเทียบความได้เปรียบเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและประเทศเวียดนาม พบว่า แนวโน้มการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยมีแนวโน้มเสียเปรียบให้แก่ประเทศเวียดนามมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อจำแนกออกเป็นปัจจัยแต่ละด้าน ประเทศไทยมีความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบ คือ ด้านปัจจัยอุตสาหกรรมสนับสนุนและเกี่ยวเนื่องในประเทศและด้านปัจจัยกลยุทธ์ โครงสร้าง และสภาพการแข่งขันในประเทศ ส่วนในด้านที่ประเทศไทยเสียเปรียบโดยเปรียบเทียบ คือ ด้านปัจจัยการผลิต และด้านปัจจัยความต้องการภายในประเทศ โดยสามารถสรุปในภาพรวมได้ดังนี้

ตัวชี้วัด	ปี พ.ศ.				
	2557	2558	2559	2560	2561
ปัจจัยการผลิต	-13.9	-14.5	-13.2	-12.1	-10.3
อุปสงค์	7.5	-3.1	-5.3	-10.7	-12.5
อุตสาหกรรมสนับสนุน	33.7	26.5	29.4	24.2	17.9
กลยุทธ์ โครงสร้างและการแข่งขัน	11.2	9.3	8.5	7.4	2.3
ผลรวม	38.2	18.2	19.4	8.8	-2.6

โดยความได้เปรียบในเชิงแข่งขันแต่ละด้าน สามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1. ด้านปัจจัยการผลิต จากการหาค่าดัชนีความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบในด้านปัจจัย พบว่า ประเทศไทยมีความเสียเปรียบโดยเปรียบเทียบแก่ประเทศเวียดนาม โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ค่าแรงงานขั้นต่ำและราคาค่าต้นทุนของเวเฟอร์

สาเหตุหลักที่ส่งผลให้ประเทศไทยเสียเปรียบ คือ ประเทศเวียดนามมีค่าแรงขั้นต่ำที่น้อยกว่าประเทศไทย จึงทำให้นักลงทุนมองเห็นโอกาสในการสร้างกำไรจากการลงทุน จึงเพิ่มการลงทุนในประเทศเวียดนาม

2. ด้านปัจจัยความต้องการภายในประเทศ (อุปสงค์) จากการหาค่าดัชนีความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบในด้านปัจจัย พบว่า ประเทศไทยมีความเสียเปรียบโดยเปรียบเทียบ

แก่ประเทศเวียดนาม โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย มูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์และมูลค่าความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนไปลดการใช้คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประกอบซึ่งเป็นสินค้าส่งออกหลักของไทยลดน้อยลง เปลี่ยนเป็นการเน้นการใช้โทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟน ที่มีฐานการผลิตในประเทศเวียดนามมากขึ้น จึงส่งผลให้มูลค่าการส่งออกของประเทศเวียดนามมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด

3. ด้านปัจจัยอุตสาหกรรมสนับสนุนและเกี่ยวเนื่องในประเทศ จากการหาค่าดัชนีความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบในด้านปัจจัย พบว่า ประเทศไทยมีความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบกับประเทศเวียดนาม โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ปริมาณการนำเข้าเวเฟอร์วงจรและอำนาจการต่อรองของผู้ขาย

ประเทศไทยได้รับการยอมรับว่า เป็นประเทศที่มีความแข็งแกร่ง จากการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพสูงกว่าประเทศอื่น ทำให้ยังคงได้รับความเชื่อถือจากลูกค้าในประเทศต่าง ๆ ประกอบกับสินค้าขั้นสุดท้ายของประเทศไทยที่ส่งออกมีความหลากหลาย ทำให้สามารถรักษารฐานลูกค้าได้อย่างต่อเนื่อง ในกระบวนการผลิตของไทยจึงจำเป็นต้องนำเข้าวัตถุดิบคุณภาพสูงจากต่างประเทศ เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพสินค้าให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

4. ด้านปัจจัยกลยุทธ์ โครงสร้าง และสภาพการแข่งขันในประเทศ จากการหาค่าดัชนีความได้เปรียบเชิงเปรียบเทียบในด้านปัจจัย พบว่า ประเทศไทยมีความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบกับประเทศเวียดนาม โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย อัตราดอกเบี้ยเงินกู้และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา

โครงสร้างทางเศรษฐกิจในปัจจุบันที่ส่งผลกระทบต่อค่าดัชนีความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบของประเทศไทยส่งผลกระทบในทางบวกมากกว่าประเทศเวียดนาม จึงเป็นส่วนช่วยในการสนับสนุนที่ทำให้ต้นทุนของสินค้าลดต่ำลงเล็กน้อย

5. อภิปรายผล (Discussion)

ผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของไทยและเวียดนาม มีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน โดยเน้นการผลิตเพื่อส่งออกสินค้าขั้นสุดท้ายสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rasiah, Xiao-Shan & Chandran (2014) ที่ทำการศึกษาวิกฤติการณ์ที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในขณะเดียวกัน ผลการศึกษาด้านปัจจัยการผลิต แสดงให้เห็น

ว่าประเทศไทยเสียเปรียบแก่ประเทศเวียดนามโดยเฉพาะค่าแรงงานขั้นต่ำซึ่งตรงกับผลการวิจัยของ Tuan, Nhan & Ngoc (2016) ที่ศึกษาถึงนวัตกรรมและปัจจัยที่ส่งผลการสนับสนุนความได้เปรียบของอุตสาหกรรมจากประเทศเวียดนาม

ผลการศึกษาพบว่า ความต้องการภายในประเทศ (อุปสงค์) ของประเทศไทยมีความเสียเปรียบโดยเปรียบเทียบแก่ประเทศเวียดนามอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมของผู้บริโภค เป็นผลการศึกษาที่สอดคล้องในทิศทางเดียวกันกับผลงานวิจัยของ Tran & Norlund (2015) ที่อธิบายถึงพฤติกรรมผู้บริโภคสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ของประชาชนในประเทศเวียดนามว่ามีปริมาณสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดดในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา

6. สรุปผล (Conclusion)

ประเทศไทยเสียเปรียบในด้านปัจจัยการผลิต และปัจจัยความต้องการภายในประเทศ ส่วนปัจจัยที่ประเทศไทยได้เปรียบก็คือ ปัจจัยอุตสาหกรรมสนับสนุนและเกี่ยวเนื่องในประเทศและปัจจัยกลยุทธ์ โครงสร้างและสภาพการแข่งขันในประเทศ จากการวิเคราะห์ความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบปัจจัยในแต่ละปีในช่วงปี พ.ศ.2557-2561 พบว่า ประเทศไทยได้เปรียบในการแข่งขันการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มากกว่าประเทศเวียดนาม แต่มีแนวโน้มได้เปรียบลดลงอย่างต่อเนื่องและเสียเปรียบโดยเปรียบเทียบกับประเทศเวียดนามในปี พ.ศ.2561 ดังนั้น ประเทศไทยควรมีมาตรการ เช่น พัฒนาฝีมือแรงงาน สร้างเทคโนโลยีใหม่เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้า และการรักษาคุณภาพทางเศรษฐกิจของประเทศ

7. ข้อเสนอแนะ (Suggestions)

จากการศึกษาความได้เปรียบเชิงการแข่งขันในการผลิตสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศไทยและประเทศเวียดนาม ประเทศไทยยังคงมีความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบกับประเทศเวียดนาม แต่เมื่อศึกษาถึงแนวโน้มในแต่ละตัวชี้วัดแล้ว จะเห็นว่าประเทศเวียดนามมีการพัฒนาประเทศในหลายๆ ด้าน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อประเทศไทยในอนาคตได้ ดังนั้นประเทศไทยควรมีการพัฒนา ปรับปรุง และเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการดำเนินงานด้านต่าง ๆ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันและรักษาตลาดส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

7.1 ปัจจัยด้านการผลิต จากผลการวิเคราะห์เป็นปัจจัยที่ประเทศไทยเสียเปรียบในการผลิตของตัวชี้วัดค่าแรงขั้นต่ำและราคาต้นทุนเวเฟอร์ ดังนั้น ประเทศไทยต้องทำการ

พัฒนาฝีมือแรงงานให้มีทักษะความสามารถให้เป็นที่ต้องการของตลาดแรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะประเทศไทยไม่สามารถลดค่าแรงขั้นต่ำลง ให้เทียบเท่ากับประเทศเวียดนามได้ จึงต้องเพิ่มประสิทธิภาพฝีมือแรงงานให้สูงขึ้นและพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตเวเฟอร์วงจรเพื่อให้ได้รับการยอมรับจากผู้ผลิตในประเทศ ส่งผลให้ผลิตเวเฟอร์วงจรได้มากขึ้นเป็นการเพิ่มอำนาจการต่อรองให้สามารถซื้อวัตถุดิบในการผลิตจากต่างประเทศได้ในราคาที่ถูกลง

7.2 ปัจจัยด้านปัจจัยความต้องการภายในประเทศ จากผลการวิเคราะห์ประเทศไทยเสียเปรียบในตัวชี้วัดมูลค่าการส่งออกสินค้าอิเล็กทรอนิกส์และมูลค่าความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ภายในประเทศ ดังนั้น ผู้ผลิตภายในประเทศไทยต้องเร่งปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้บริโภคและการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ รวมถึงสร้างเทคโนโลยีใหม่เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ให้มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้น และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันได้อย่างรวดเร็ว

7.3 ปัจจัยด้านปัจจัยอุตสาหกรรมสนับสนุนและเกี่ยวเนื่องในประเทศ จากผลการวิเคราะห์เป็นปัจจัยที่ประเทศไทยได้เปรียบในการผลิตในตัวชี้วัดปริมาณการนำเข้าเวเฟอร์วงจรและอำนาจการต่อรองของผู้ขาย ประเทศไทยได้รับการยอมรับจากต่างประเทศในมาตรฐานสินค้าอิเล็กทรอนิกส์จึงต้องมีการพัฒนาการผลิตสินค้าให้มีมูลค่าเพิ่มสูงโดยเน้นการออกแบบ เพิ่มนวัตกรรมใหม่ เน้นการผลิตตามความต้องการของลูกค้าให้มากขึ้น เพื่อรักษารฐานลูกค้าเดิม เพิ่มลูกค้ารายใหม่ และจำเป็นต้องพัฒนาอุตสาหกรรมขั้นต้น คือ อุตสาหกรรมการผลิตเวเฟอร์วงจรภายในประเทศให้มีคุณภาพที่สูงขึ้น เพื่อลดการนำเข้าเวเฟอร์วงจรจากต่างประเทศให้ลดลง หันมาใช้สินค้าจากผู้ผลิตภายในประเทศให้มากขึ้น

7.4 ปัจจัยด้านปัจจัยกลยุทธ์ โครงสร้าง และสภาพการแข่งขันในประเทศ จากผลการวิเคราะห์เป็นปัจจัยที่ประเทศไทยได้เปรียบในตัวชี้วัดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา เนื่องจากเป็นตัวชี้วัดที่ส่งผลต่อความเชื่อมั่นในการลงทุนของนักลงทุนต่างชาติ ดังนั้น รัฐบาลและธนาคารแห่งประเทศไทย ต้องมีมาตรการทางการเงินในการรักษาคุณภาพทางเศรษฐกิจไม่ให้ความผันผวนจนทำให้เกิดความไม่มั่นใจในการลงทุน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมส่งเสริมการค้าส่งออก. (2561). พัฒนาการของประชาคมอาเซียน. กรุงเทพมหานคร: เพจเมคเกอร์.
- [2] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2561). แนวโน้มแรงงาน

- ภาคอุตสาหกรรมอาเซียน. กรุงเทพมหานคร: อัดสำเนา.
- [3] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2562). ยุทธศาสตร์อุตสาหกรรมไทย. กรุงเทพมหานคร: ไทยวัฒนาพานิช.
- [4] สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์. (2562). แนวทางการเปรียบเทียบอุตสาหกรรมในอาเซียน. กรุงเทพมหานคร: อัดสำเนา.
- [5] Leung, S. E. (2010). Vietnam: an economic survey. *Asian-Pacific Economic Literature*, 24(2), 83-103.
- [6] Rasiah, R., Xiao-Shan, Y., & Chandran Govindaraju, V. G. R. (2014). Crisis effects on the electronics industry in Southeast Asia. *Journal of Contemporary Asia*, 44(4), 645-663.
- [7] Tran, A. N., & Norlund, I. (2015). Globalization, industrialization, and labor markets in Vietnam. *Journal of the Asia Pacific Economy*, 20(1), 143-163.
- [8] Tuan, N., Nhan, N., Giang, P., & Ngoc, N. (2016). The effects of innovation on firm performance of supporting industries in Hanoi, Vietnam. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(2), 413-431.

เทคโนโลยีการรีดผ้าในกระบวนการรีดเหล็กเส้น Slit Rolling Technology for Re-bar Rolling Process

สำเร็จ เนตรภู

ผู้จัดการโรงงาน บริษัท เอส.เอส.เค.เอ็นจิเนียริง จำกัด

70/4 หมู่ 3 ตำบลบางครุ อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ 10130

อาจารย์สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต

1761 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

samroeng.net.ac.th

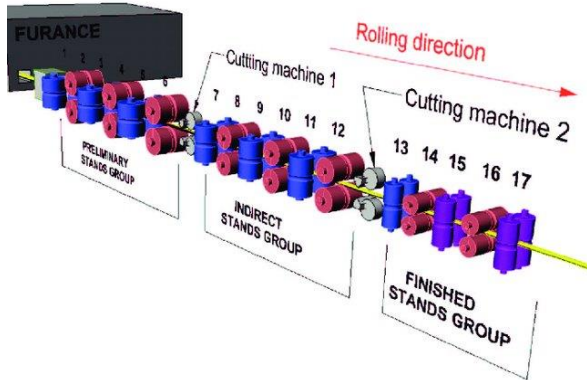
บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์นำเสนอแนวการเพิ่มผลผลิตของกระบวนการรีดเหล็กเส้นโดยใช้เทคโนโลยีการรีดผ้าเพื่อให้สามารถแข่งขันได้แบบยั่งยืนในอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก โดยได้ศึกษาความเป็นมาของการรีดแบบผ้า วิธีการรีดผ้า ชนิดของร่องรีด และอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับการรีดผ้าแบบ 2-5 เส้นจากการใช้บิลเล็ตแท่งเดียว การเปรียบเทียบกำลังผลิตของเหล็กเส้นขนาดต่าง ๆ และปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการรีดผ้านี้ไม่ประสบผลสำเร็จเกิดการสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต เทคโนโลยีการรีดผ้า โดยสรุปได้ว่าเทคโนโลยีนี้ทำให้กำลังผลิตเหล็กเส้น เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กในกระบวนการเดียวกันมีกำลังการผลิตเท่ากับเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่โดยที่ไม่ต้องใช้ความเร็วที่สูงมากเกินไปซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องรีดสามารถรองรับได้ และเทคโนโลยีนี้สามารถลดลำดับขั้นตอนจำนวนครั้งการรีดให้น้อยกว่าการรีดแบบเส้นเดียวทั่วไปซึ่งส่งผลให้จำนวนแท่นรีดในกระบวนการลดลงและลดการลงทุนเริ่มต้นได้มาก

คำสำคัญ (Key word): การรีดผ้า กระบวนการรีดเหล็กเส้น การเพิ่มผลผลิต Slit rolling; Slit groove; Dog-bone pass

บทนำ

กระบวนการรีดแบบเส้นเดียวทั่วไป (Conventional Rolling Process) เริ่มต้นจากการนำบิลเล็ตเข้าเตาอบเหล็ก (Reheating Furnace) ให้ได้ประมาณ 1,150°C หลังจากนั้นลำเลียงเข้าแท่นรีดหยาบ (Roughing Stand) 1-8 แท่น แท่นรีดหยาบกลาง (Intermediate Stand) 9-14 แท่น และมีแท่นรีดละเอียด (Finishing Stand) 15-20 แท่น ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยทั่วไปกระบวนการรีดเหล็กเส้นเดียวแบบทั่วไปจะถูกออกแบบให้มีความหลากหลายของขนาดเหล็กเส้นเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าโดยปกติแล้วมีขนาดตั้งแต่ $\phi 9$ - $\phi 32$ มม. แต่กระบวนการผลิตของเหล็กเส้นแบบทั่วไปนี้จะมีกำลังผลิตความแตกต่างกันมากระหว่างเหล็กเส้นแต่ละขนาด เช่น ขนาดใหญ่ ($\phi 32$ มม.) กำลังผลิตจะสูงเกินกำลังผลิตของเตาอบเหล็ก และเหล็กเส้นขนาดเล็ก ($\phi 9$ มม.) กำลังผลิตจะต่ำแต่ถ้าต้องการให้เหล็กเส้นขนาดเล็กมีกำลังผลิตจะสูงได้ก็ต้องเพิ่มความเร็วในการรีดให้สูงขึ้นแต่ไม่สามารถเพิ่มได้สูงมากเพราะมีข้อจำกัดด้านความเร็วของเครื่องรีดเหล็กและอุปกรณ์ ทำให้เหล็กเส้นขนาดเล็กมีกำลังผลิตต่ำ Productivity ต่ำ ไม่สามารถแข่งขันทางธุรกิจได้ทำให้ผู้ออกแบบต้องหาความเหมาะสมกับกำลังผลิตของเตาเผาให้ทั้งเหล็กใหญ่และเหล็กขนาดใหญ่ได้เหมาะสมกับกำลังผลิตของเตาเผา



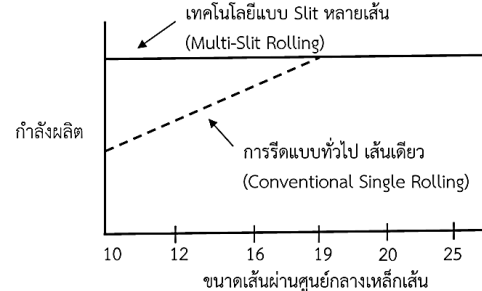
ภาพที่ 1 เครื่องรีดเหล็กเส้นกลมและข้ออ้อยแบบต่อเนื่อง [1]

ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นกระบวนการรีดเหล็กเส้นขนาดตั้งแต่ $\phi 10$ $\phi 12$ และ $\phi 16$ มม. กำลังผลิตก็จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของเหล็กเส้นแบบการรีดแบบเส้นเดียวแต่ยังไม่เต็มกำลังผลิตของเตาอบเหล็ก จนกระทั่งขนาดเหล็กเส้น $\phi 19$ มม. หรือมากกว่า กำลังผลิตเหล็กเส้นจึงเต็มกำลังผลิตของเตาอบ จะเห็นได้ว่ากำลังผลิตเหล็กเส้นที่ขนาดต่ำกว่า $\phi 19$ มม. เตาอบจะทำงานไม่เต็มที่ส่งผลให้มีประสิทธิภาพต่ำ (Low Efficiency) ทำให้สูญเสียโอกาสส่งผลให้ผลผลิตต่ำ (Low Productivity)

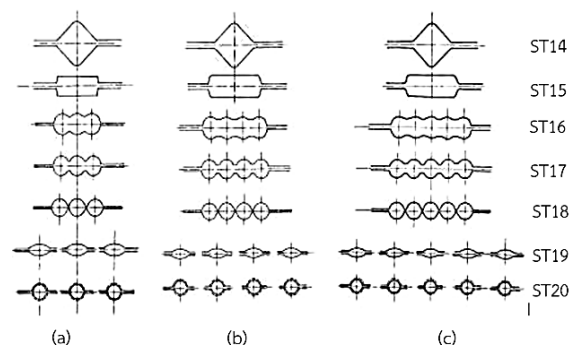
ดังนั้นผู้ออกแบบจึงใช้เทคโนโลยีการรีดผ่า (Slit Rolling Technology) เฉพาะเหล็กขนาดเล็ก ($\phi 8$ - $\phi 12$

มม.) โดยการออกแบบร่องรีดพิเศษ (Special Pass Design) 5 ร่องท่าย (5 แท่นรีด) ของแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเส้น เช่น ร่องรีดเตรียมก่อนเข้า Dog Bone (DB) และหลังจากออกจากแท่นรีดร่องรีดแบบ DB แล้วจะเข้าแท่นรีดลำดับถัดไปเพื่อลดขนาดพื้นที่หน้าตัดให้เล็กลงตามแบบอีกครั้งเพื่อต่อการแยกหรือผ่าออกเป็นสองเส้นหรือมากกว่านั้นและทางออกของที่ร่องรีดนี้จะติดตั้งชุดผ่าที่ใบมีดผ่าแยก (Slitter Blade) เมื่อผ่านใบมีดของชุดผ่า (Slitter) เหล็กก็จะแยกออกเป็นสองเส้น "Slit Pass (SP) หรือมากกว่าตามที่ออกแบบ หลังจากนั้นชิ้นงานก็จะเข้าแท่นรีดถัดไปชิ้นงานจะถูกรีดให้เป็นรูปไข่ (Oval) และเข้าแท่นสุดท้ายออกเป็นเหล็กเส้นกลมหรือเหล็กเส้นข้ออ้อยตามขนาดที่ออกแบบไว้

การรีดแบบผ่าแบบ 3 4 และ 5 เส้น การผ่าก็จะเริ่มต้นจากร่องรีดแบบ Square หรือกลม (ST14) แล้วก็จะรีดเป็นร่องรีดแบน (ST15) เพื่อเข้าแท่นรีดต่อเพื่อเป็นร่องรีดเพื่อเตรียมเข้า DB (ST16) หลังจากออกจากแท่นรีดแบบ DB แล้วก็จะเข้าแท่นรีด (ST17) เพื่อลดขนาดให้เล็กลงตามแบบที่แท่นรีด (ST18) อีกครั้งเพื่อต่อการแยกออกเป็น 3 เส้น 4 เส้นหรือ 5 เส้นหลังจากผ่าแยกแล้วจะชิ้นงานยังมีรูปแบบกลมและเข้าแท่นรีดแบบร่องรูปไข่ (ST19) และเข้าแท่นรีดสุดท้าย (ST20) เหมือนกับรีดแบบผ่าเป็น 2 เส้นเช่นกัน รูปแบบและลำดับการผ่าแยกดังแสดงในภาพที่ 3 และจากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากระบวนการรีดผ่า สามารถลดจำนวนแท่นรีดได้เมื่อเทียบกับการรีดแบบเส้นเดียว



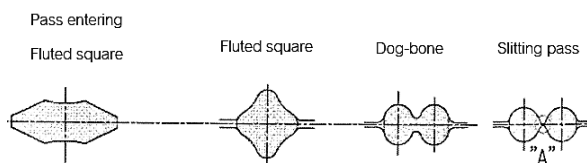
ภาพที่ 2 เปรียบเทียบกำลังผลิตของการรีดแบบกระบวนการทั่วไปกับแบบเทคโนโลยีการรีดผ่า



ภาพที่ 3 Schedule การรีดแบบรีดผ่า (a) 3 เส้น (b) 4 เส้น และ (c) 5 เส้น [2]

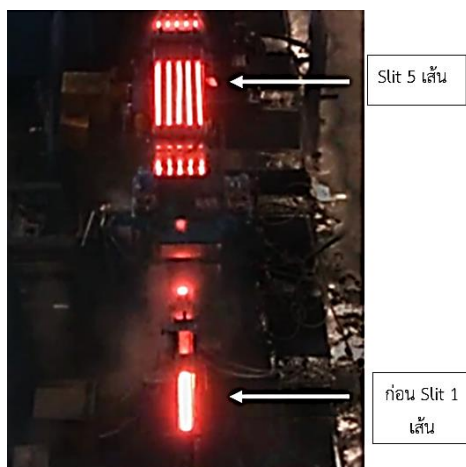
ชนิดของร่องรีดแบบผ่า (Kind of Slitting Groove)

ร่องรีดก่อนหน้าและหลังการรีดแบบผ่านั้นส่วนมากจะ
ใช้ลักษณะของร่องเป็นแบบ Round-Oval-Round ซึ่งเป็น
ร่องแบบการรีดปกติทั่วไปแต่จะมีร่องรีดแบบพิเศษก่อนหน้า
การรีดผ่าแยกที่จะทำการรีดผ่าและร่องรีดที่ออกจาก ชุดไกด์
การรีดผ่า (Slitter) นั้นก็จะเป็นรูปร่างกลม (Round Shape)
และจะไปเข้าร่องรีดแบบรูปไข่ในลำดับถัดไป ตามรูปแบบ
เหมือนการรีดปกติเส้นเดียว โดยมีรูปแบบของร่องรีดพิเศษ
สำหรับการรีดผ่าเหมือนการรีดแบบธรรมดาทั่วไป
ประกอบด้วย 4 ชนิดได้แก่ (1) Pass Entering Fluted
Square (2) Fluted Square (3) Dog-Bone และ (4)
Slitting Pass ดังแสดงภาพแบบของร่องดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชนิดของร่องรีดแบบ Slitting

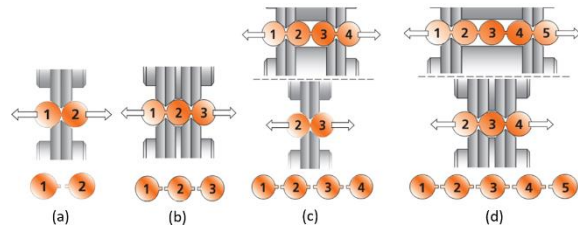
การพัฒนาเทคโนโลยีของการรีดเหล็กแบบผ่าเพื่อแยก
เหล็กให้มากกว่าหนึ่งเส้นโดยใช้บิลเลตแท่งเดียวนั้นมีมานาน
หลายปี เพื่อเพิ่มผลผลิตของเหล็กเส้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง
ขนาดเล็ก ($\varnothing 7$ - $\varnothing 20$ มม.) มาอย่างต่อเนื่องโดยเริ่มจากการ
ผ่าเป็น 2 เส้นและได้พัฒนาเป็น 3 เส้น 4 เส้น อย่างต่อเนื่อง
และล่าสุด Danieli Morgårdshammar ซึ่งเป็นผู้นำระดับโลก
ในการออกแบบเครื่องรีดเหล็กเส้นและโรงงานรีด
ผลิตภัณฑ์แบบทรงยาวได้มีผู้ออกแบบใช้เทคโนโลยีการรีดผ่า
5 เส้น และได้ประสบความสำเร็จสำหรับการผลิตเหล็กเส้น
โดยเริ่มจากเหล็กบิลเลตแท่งเดียวดังแสดงในภาพที่ 5 ผลิต
เหล็กเส้นขนาด $\varnothing 8$ มม. ในปี พ.ศ. 2559 ณ โรงงานผลิต
เหล็กเส้น BSRM ซึ่งเป็น บริษัทผลิตเหล็กในประเทศไทย
เขต [2]



ภาพที่ 5 การรีดแบบผ่า 5 เส้น

วิธีการรีดผ่า (Slit Rolling Method)

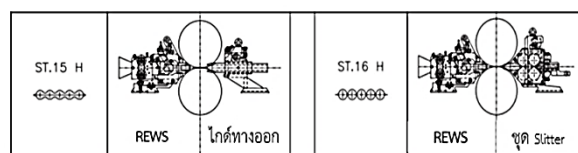
การรีดผ่าแบบ 2 เส้นนั้นวิธีการก็จะแบ่งครึ่งของชิ้น
งานเลยและการรีดผ่าแบบ 3 แบบ 4 และแบบ 5 เส้น การ
รีดผ่าแบบ 3 เส้น โดยการออกแบบร่องรีด จะมีรูปแบบ 3
ส่วน (1 2 และ 3) การผ่าแยกจะเริ่มผ่าแยก 1 กับ 2 และ 3
แยกออก 3 พร้อมกัน โดยใช้ชุดผ่า ชุดเดียวเท่านั้นดังแสดง
ในภาพที่ 6 ส่วนการรีดแบบผ่าออกเป็น 4 เส้นจะทำการผ่า
แยกเป็น 2 ครั้ง ครั้งแรกแยก 1 กับ 4 ออกจากกันก่อนโดย
ใช้ ใบมีดชุด ผ่าสองชุดดังแสดงในภาพที่ 6 และแบบรีดผ่า 5
เส้นนั้นจะทำการแยก 1 กับ 5 ก่อน แล้วแยก 2 3 และ 4 เส้น
ออกตามดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 เทคนิคการผ่าแยก (a) แบบ 2 เส้น (b) แบบ 3
เส้น (c) แบบ 4 เส้น (d) แบบ 5 เส้น [3]

การติดตั้งอุปกรณ์หลักสำหรับการรีดผ่า

ระบบการติดตั้งไกด์ที่สำคัญได้แก่ โรลเลอร์ไกด์
(Roller entry guide with stabilizer, REWS) ติดตั้งที่
ทางเข้าแท่นรีด 15 (ST 15) และ 16 (ST 16) และชุด
Slitter ติดตั้งที่ทางออกแท่นรีด 16 (ST 16) ดังแสดงในภาพ
ที่ 7

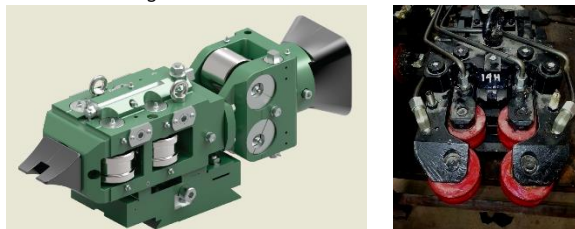


ภาพที่ 7 แสดงการติดตั้งของไกด์เข้า-ออก ต่าง ๆ ในการรีด
แบบผ่า [2]

อุปกรณ์หลักสำหรับการรีดผ่า

ในกระบวนการรีดผ่าจะมีอุปกรณ์หลักเพิ่มเติมจาก
กระบวนการผลิตแบบเส้นเดียวได้แก่ (1) Delivery Roller
twister guide (2) โรลเลอร์ไกด์ (Roller Entry Guide) ดัง
แสดงในภาพที่ 8 (3) EDG Edging Guide (4) Slitting (5)

ไกด์บิดทางออก (Twist Roller Guide) และ (6) ไกด์ทางออก (Exit guide)

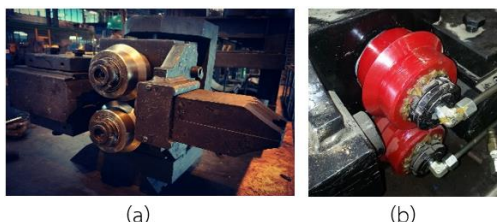


ภาพที่ 8 Roller entry guide with stabilizer และ roller entry guide แบบ 4 ลูกโรลเลอร์

ชุดรีดผ้าที่มีใบมีดสำหรับรีดผ่านนั้นแบ่งออกได้ประมาณ 2 แบบ ได้แก่ แบบติดตั้งเอาไว้ภายนอกแท่นนี้และแบบติดตั้งบริเวณทางออกของแท่นรีดดังภาพที่ 9 ชุดรีดผ้าแบบแรกจะต้องติดตั้งนอกแท่นรีดและปัจจุบันนี้ไม่ได้รับความนิยมสำหรับผู้ออกแบบแล้วเนื่องจากมีขนาดรูปร่างใหญ่ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากและชุดรีดผ้าแบบที่ 2 แบบติดตั้งบริเวณทางออกภายในแท่นรีดลักษณะของชุดผ้าแบบนี้ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ชุดรีดผ้าแบบติดตั้งเอาไว้ภายนอกแท่น



ภาพที่ 10 (a) ชุดรีดผ้าแบบผ่าแบ่ง 2 เส้น (b) การประกอบใบมีดเข้าเพลลา

ปัญหาที่พบในกระบวนการรีดแบบผ่า

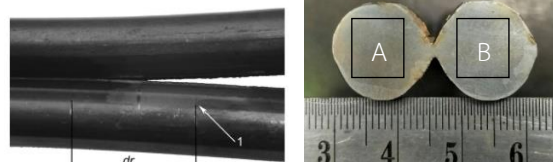
ปัญหาที่สำคัญที่เป็นอุปสรรคของการรีดผ้าคือคุณภาพของวัตถุดิบ (บิลเลต) ถ้าคุณภาพไม่ดีมีส่วนผสมสิ่งแปลกปลอม (Impurity) หรือ Inclusion ในเนื้อของบิลเลตมีโพรงอากาศในเนื้อของบิลเลต ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อชิ้นงาน (บิลเลตที่ถูกรีด) นั้นแตกหรือมีรอยเสกที่ผิวของชิ้นงานและจะติดสะสมอยู่บริเวณทางเข้าไกด์หรือรูของไกด์ทำให้ชิ้นงานเส้นถัดไปที่จะตามมาไม่สามารถเข้ารูของไกด์ได้ทำให้เหล็กติดและสูญเสียเวลา (Down Time) ในกระบวนการผลิตลักษณะของเศษเหล็กที่ติดบริเวณทางเข้าและรูของไกด์ดังแสดงในภาพ 11

เหล็กมีน้ำหนักแต่ละเส้นไม่เท่ากัน ถ้าชิ้นงานที่ก่อนเข้าแท่นรีดที่จะรีดถ้าการเตรียมชิ้นงานหรือร่อนรีดก่อนการแบ่งชิ้นงานในด้าน A และ B ไม่เท่ากันดังแสดงในภาพที่ 12 โดยจะส่งผลให้เหล็กเส้นที่รีดออกโดยใช้เทคโนโลยีการรีดผ่านมีน้ำหนักไม่เท่ากันระหว่างเหล็กเส้นแต่ละเส้น



ภาพที่ 11 เศษเหล็กติดไกด์และเศษเหล็กติดแผ่นแยกชิ้นงาน

การผ่าแบ่ง 2 เส้น



ภาพที่ 12 ลักษณะของชิ้นงานที่ผ่านการรีดแบบผ่า [4]

กำลังผลิตของเหล็กเส้นที่ใช้เทคโนโลยีการรีดผ้า

กำลังผลิตจะเพิ่มขึ้นโดยแปรผันตามจำนวนเส้นที่ทำการรีดผ้า เช่น ขนาดเหล็ก DB16 ในกรณีการรีดแบบเส้นเดียวกำลังผลิตเท่ากับ 58 ต้นต่อชั่วโมงและในกรณีใช้เทคโนโลยีการรีดแบบผ่า 2 เส้นกำลังผลิตเท่ากับ 116 ต้นต่อชั่วโมงและกำลังผลิตขนาดเหล็กอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 กำลังผลิตของเหล็กเส้นของแต่ละจำนวนการแบบผ่าและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กต่างกัน

ลำดับ	จำนวน ผ่า (เส้น)	ขนาด เหล็ก (มม.)	น้ำหนัก (kg/m)	ความเร็ว (m/s)	กำลัง ผลิต (T/hr)
1	1	DB16	1.578	10.2	58
2	2	DB16	1.578	10.2	116
3	1	DB12	0.888	11.2	36
4	2	DB12	0.888	11.2	72
5	1	DB12	0.888	12.2	39

6	2	DB10	0.616	10.2	45
7	3	DB10	0.616	10.2	68
8	4	DB10	0.616	10.2	90

สรุปผล

สรุปได้ว่าเทคโนโลยีการรีดผ่านนี้ทำให้เหล็กเส้น เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมีกำลังการผลิตเท่ากับเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่โดยที่ไม่ต้องใช้ความเร็วที่สูงมากเกินไปซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องรีดสามารถรองรับได้ และเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้จำนวนแท่นรีดน้อยกว่าการรีดแบบเส้นเดียวทั่วไป ทำให้สามารถลดการลงทุนเริ่มต้นได้มาก

ข้อดี

1. กำลังผลิตมากกว่าขณะความเร็วที่รีดสุดท้ายเท่ากัน
2. กำลังผลิตเพิ่มขึ้นจำนวนแท่นรีดหรือจำนวนครั้งในการรีดน้อยกว่าแบบการรีดแบบเส้นเดียว
3. สามารถลดการลงทุนเริ่มต้นเนื่องด้วยจำนวนเครื่องรีดน้อยกว่า เพราะต้นทุนของแต่ละเครื่องรีดจะประกอบด้วย ลูกรีด มอเตอร์ Drive Control Power รวมทั้งอะไหล่สำหรับการซ่อมบำรุง
4. กำลังผลิตสามารถทำได้เต็มกำลังผลิตของเตาอบทั้งขนาดของเหล็กทั้งเล็กและใหญ่ส่งผลให้ Productivity สูงขึ้น

ข้อเสีย

1. ต้องมีอุปกรณ์พิเศษเพิ่มขึ้น เช่น Pre-entry Guides Entry Guide และ อุปกรณ์ชุดการรีดผ่า
2. ควบคุมการรีดยากมากขึ้นเพราะจะต้องมีรูปแบบของ Pass Design เป็นแบบพิเศษอย่างน้อย 2 Pass ได้แก่ Forming Pass และ Slitting Pass

เอกสารอ้างอิง

- [1] Szotz P., and Strycharska D., Suwat P., Analysis of Rolls Wear During the Ribbed Bars Multi-Slit Rolling Archives of Metallurgy and Materials, Vol.60, 2015
- [2] Andrea Z., and Sunil KD., 5-Strand Slitting Process: Implementation and Results- A Successful Project Jointly Developed by BSRM Steel Ltd and Danieli, 2014

[3] <http://www.danielicorp.com/Slit%20Rolling.pdf>

[4] Stefanik A., Dyja H., Mroz S., Determination of the Critical Valve of Normalized Cocroft-Latham Criterion During Multi Slight Rolling Based on Tensile Test, Archives of Metallurgy and Materials, Vol 56, 2011



ดร.สำเร็จ เนตรภู

ตำแหน่ง -ที่ทำงานปัจจุบัน

- 1) ผู้จัดการ บริษัท เอส. เอช.เค. เอ็นจิเนียริง จำกัด 70/4 หมู่ 3 ต.บางครุ อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ 10130 เบอร์โทรศัพท์ 02-4640459-61 Fax 02-4632260
- 2) อาจารย์ประจำบัณฑิตวิทยาลัย หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (M.Eng.) สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพมหานคร
- 3) เป็นผู้จัดการฝ่ายผลิตเหล็กเส้นในประเทศอินโดนีเซีย บริษัท PT. Putra Baja Deli, Jakarta Indonesia

การศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ศึกษานานาชาติ วิทยาลัยช่างกลปทุมวัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ. เครื่องกล) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม. การจัดการงานวิศวกรรม) มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิตและ วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วศ.ด. การออกแบบและผลิตแบบบูรณาการ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ผลงานการออกแบบทางวิศวกรรมในอุตสาหกรรมเหล็ก

2559-2560 ทดลองเดินเครื่องรีด (Test Run) และควบคุมดูแลการรีดแบบ slitting rolling ขนาด Ø8-Ø12 มม. ของ บริษัท PT. Putra Baja Deli ซึ่งมีกำลังการผลิตสูงสุด 500,000 ตันต่อปี เมืองซีเลกอน ประเทศอินโดนีเซีย

2555 บริหารโครงการ ออกแบบและผลิตเครื่องรีดพร้อมอุปกรณ์เครื่องรีดโรงงานรีดเหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณกำลังการผลิตสูงสุด 200,000 ตันต่อปี ของ บริษัท ที. เอส.บี. เหล็กกล้า จำกัด อ.ศรีมหาโพธิ์ จ.ปราจีนบุรี

2554-2555 โรงงานรีดเหล็กเส้นกลม ข้ออ้อยและแบน กำลังการผลิตสูงสุด 30,000 ตันต่อปีของบริษัท สหชัยสตีล จำกัด อ.พระประแดง จ.สมุทรปราการ การให้คำปรึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการรีดเหล็กให้ดีขึ้นใช้วัตถุดิบเป็นเหล็กแท่งเล็กขนาดหน้าตัด 120×120 มม.² และลดต้นทุนการผลิตด้านพลังงาน

ปี 2552 ออกแบบเครื่องรีดเหล็กและอุปกรณ์พร้อมทดลองเดินเครื่องรีดของโรงงานรีดเหล็กเส้นและเหล็กรูปพรรณ กำลังการผลิตสูงสุด 200,000 ตันต่อปี ของ บริษัท PT. Putra Baja Deli เมือง เมดาน ประเทศอินโดนีเซีย

2548-2550 ออกแบบเครื่องรีดเหล็กและอุปกรณ์พร้อมทดลองรีดของโรงงานรีดเหล็กเส้น กำลังการผลิตสูงสุด 50,000 ตันต่อปี ของ บริษัท Sonik Steel Process Industries Sdn. Bhd. เมือง Kuala Lumpur ประเทศมาเลเซียและ ออกแบบและผลิตเครื่องรีดเหล็กและอุปกรณ์พร้อมทดลองรีดของโรงงานรีดเหล็กเส้น กำลังการผลิตสูงสุด 120,000 ตันต่อปี ของ บริษัท กาญจนสตีล อินทรีสตีล จำกัด สมุทรปราการ

ปี 2540-2547 ออกแบบคำนวณ และปรับปรุงแก้ไขเครื่องรีดเหล็กเดิมที่มีอยู่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและผลผลิต โรงงานรีดเหล็กเส้นกลม เหล็กข้ออ้อย รูปพรรณ เหล็กแบน และเหล็กสี่เหลี่ยม ผู้ผลิตเหล็กในประเทศและต่างประเทศ จำนวน 15 โรงงาน เช่น บริษัท พาณิชา สตีล จำกัด บริษัท ซี.เอ็น. สตีล จำกัด บริษัท เจ.เอส. สตีล โปรดักส์ จำกัด บริษัท บี.เค.เค. สตีลมีล จำกัด บริษัท เจียนต้า สตีล จำกัด บริษัท บางพลี สตีล จำกัด บริษัท เครือสมุทรปราการ สตีล จำกัด ISM Steel Co., Ltd (Malaysia) Maju Steel Sdn Bhd. (Malaysia) เป็นต้น

ผู้ทรงคุณวุฒิ/อนุกรรมการ/กรรมการ

ได้รับเชิญเป็นคณะกรรมการการตัดสิน การแข่งขันออกแบบนวัตกรรม เทคโนโลยี พื้นฐานวิศวกรรม และพลังงานสะอาด (Thailand Green Mech Contest 2019) ณ เวสต์เกต ฮอลล์ ศูนย์การค้าเซ็นทรัลพลาซ่า เวสต์เกต จังหวัดนนทบุรี 15 มิถุนายน 2562 และเป็นคณะกรรมการการตัดสิน การแข่งขันสุดยอดช่างซ่อมมืออาชีพกัลลศาสตร์รอบชิงชนะเลิศระดับประเทศประจำปี 2561 วันที่ 23 กันยายน ณ โรงแรมเดอะ ชายน์ จังหวัดชลบุรี

เป็นผู้ทรงคุณวุฒิ วิชาภาควิชาการประจวบคนนวัตกรรม สิ่งประดิษฐ์ และยกย่องและวิพากษ์หลักสูตรในสาขาต่าง ๆ ทั้งในระดับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎี

บัณฑิตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เป็นผู้ทรงคุณวุฒิ (ปี 2558) เพื่อพิจารณาบทความวารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต กรุงเทพมหานครและได้รับแต่งตั้งเป็นคณะกรรมการบริหารงานสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลไทย วาระ ปี พ.ศ. 2561-2563

เป็นคณะกรรมการเทคนิคการแข่งขันฝีมือแรงงานนานาชาติ ครั้งที่ 45 ณ เมืองคาซาน สหพันธรัฐรัสเซีย การแข่งขันฝีมือแรงงานอาเซียน ครั้งที่ 12 (ปี 2561) และการแข่งขันฝีมือแรงงานแห่งชาติ ครั้งที่ 27 (ปี 2560) สาขาเขียนแบบวิศวกรรมเครื่องกลด้วยคอมพิวเตอร์ โดยสามารถนำพาเยาวชนชนะเลิศได้รับเหรียญทองทั้งสองคนระดับอาเซียนและได้เหรียญรางวัลฝีมือยอดเยี่ยม (Medallion for Excellence) ที่เมืองคาซาน สหพันธรัฐรัสเซีย

การสัมมนาและดูงาน

ได้เข้าร่วมสัมมนาและศึกษาดูงานในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งภายใน และต่างประเทศมากกว่า 17 ประเทศ อาทิ ญี่ปุ่น จีน อเมริกา สหภาพโซเวียต เยอรมนี สเปน อิตาลี สวิตเซอร์แลนด์ ไต้หวัน ฮองกง มาเลเซีย อินโดนีเซีย เวียดนาม สหภาพพม่า ลาว ฟิลิปปินส์ และบังกลาเทศ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถ และนำมาพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น เนื้อหาสาระที่สำคัญจำนวนมากเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักร การผลิตและระบบการผลิตสมัยใหม่ อุตสาหกรรมเหล็ก เทคโนโลยีและนวัตกรรมสมัยใหม่ ระบบควบคุมอัตโนมัติสมัยใหม่ในอุตสาหกรรม การลดต้นทุนการผลิต การประหยัดพลังงาน การตลาดและการแข่งขันในธุรกิจ

ผลงานด้านวิจัย

ผลงานทางด้านวิชาการ มีผลงานนำเสนอในงานประชุมวิชาการและวารสารระดับชาติประมาณ 7 เรื่อง และมีผลงานตีพิมพ์ใน International Journal และงานสัมมนานานาชาติมากกว่า 13 เรื่อง

ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ

1) ผลงานได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ Engineering Failure Analysis, Vols. 33 (2013), หน้า 81-90 เรื่อง Failure of a Helical Gear in a Power Plant

2) ผลงานได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร Procardia-Social and Behavioral Sciences 88, (2013), หน้า 154-

163 เรื่อง Failure Analysis of a Two High Gearbox Shaft

3) ผลงานได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ Journal of Materials Science and Engineering, Vol. 2 (4), (2012), หน้า 289-294 เรื่อง Failure Analysis of a Helical Gear in a Gearbox Used in a Steel Rolling Mill

4) ผลงานได้รับการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ Key Engineering Materials, Vols. 462-463 (2011), หน้า 366-371 เรื่อง Failure Analysis of a Herringbone Gear

สัมมนา นานาชาติ (International Conferences)

1) The 9th TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2018), December 11th – 14th, 2018, Thailand เรื่อง Fatigue failure of an idle gear shaft of a gearbox

2) The 8th International Conference on Tube Hydroforming (Tubehydro 2017) November 14th - 17th, 2017, Bangkok, Thailand เรื่อง A Failure Analysis of Helical Gear Shaft in Hot Rolling Mill

3) The 4th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference, December 11th – 14th 2012, Thailand เรื่อง Fatigue failure of a 2 high gearbox shaft

4) The 2nd TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2011), October 19th – 21st, 2011, Thailand ผลงานเรื่อง An Investigation of a Helical Gear Crack Used in a Crop Shear

5) The 1st TSME International Conference on Mechanical Engineering (TSME-ICoME 2010), October 20th - 22nd, 2010, Thailand เรื่อง Failure Analysis of a Helical Gear

6) 8th International Conference on Fracture and Strength of Solids (FEOFS) 2010, June 6th-9th, 2010, Malaysia เรื่อง Failure Analysis of a Herringbone Gear

7) The 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Mechanics (3rd ICMEM), October 21st-23rd, 2009, Beijing, China เรื่อง Failure Analysis of a Ductile Roll

8) International Conference on Materials and Metallurgical Technology 2009 (ICOMMET 2009),

June 24th-25th, 2009, Surabaya, Indonesia เรื่อง Failure Analysis of a Reducer Gearbox Shaft

รางวัลที่ได้รับ

1) รางวัลเหรียญบรอนซ์ และรางวัลเหรียญทองเกียรติยศจากประเทศจีน จากผลงาน “Innovative Rebar Cutting System for Short End Saving 4.0G” การประกวดนวัตกรรมจากงานวิจัยในงาน 47th International Exhibition of Inventions Geneva ณ กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ วันที่ 10 – 14 เมษายน 2562

2) นวัตกรรมผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2562 จากสภาวิจัยแห่งชาติ เรื่อง “นวัตกรรมการตัดเหล็กเส้นลดเศษหางเหล็ก(Innovative Rebar Cutting System for Short End Saving 4.0G)”

3) นวัตกรรมผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2559 จากสภาวิจัยแห่งชาติ เรื่อง “นวัตกรรมเครื่องตัดเหล็กเส้นอัตโนมัติแบบปรับสภาวะการทำงานได้ มาตรฐานส่งออก”

สนับสนุนโดย



สถาบันน้ำและสิ่งแวดล้อมเพื่อความยั่งยืน สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
WATER AND ENVIRONMENT INSTITUTE FOR SUITABILITY
THE FEDERATION OF THAI INDUSTRIES



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PHRANAKHON



หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (M.ENG.)
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
SUSTAINABLE INDUSTRIES MANAGEMENT ENGINEERING : SIME

