วารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
Journal of Engineering and Innovative Research
Faculty of Engineering RMUTI KKC

ISSN : 2822-129X (Print)
ISSN : 2985-0207 (Online)

Vol. 1 No. 2
July-December 2023
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2
กรกฎาคม- ธันวาคม 2566

https : pho3.tci-thaijo/index.php/JEIRKKC
@eng.rmuti.kkc

JEIR
Journal of Engineering and Innovative Research
Faculty of Engineering RMUTI KKC

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

Vol. 1 No. 2
July-December 2023
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2
กรกฎาคม- ธันวาคม 2566

วารสารวิจัยวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม ISSN : 2822-129X (Print)
Journal of Engineering and Innovative Research ISSN : 2985-0207 (Online)
ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม-ธันวาคม 2566)
Vol. 1 No. 2 (July-December 2023)

เจ้าของ

งานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

วัตถุประสงค์

เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยวารสารรับพิจารณาตีพิมพ์บทความวิชาการและบทความวิจัยครอบคลุมอนุสาขาด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์หรือนวัตกรรมใหม่ที่มีกระบวนการทำวิจัย วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดสอบอย่างเป็นระบบ

สาขาวิชาที่เปิดรับผลงาน

วารสารเน้นรับบทความทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในกลุ่มสาขาวิชาดังนี้ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตรและแปรรูปอาหาร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ วิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ วิศวกรรมระบบราง ขนส่งและยานยนต์

ที่ปรึกษา

อาจารย์ปริญ นาชัยสิทธิ์ รองอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หริส ประสารฉ่ำ ผู้ช่วยอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์บุญกิจ อุ่นพิกุล ผู้ช่วยอธิการบดีประจำวิทยาเขตขอนแก่น
อาจารย์ ดร.ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันตะคุณ รองคณบดีฝ่ายบริหาร
รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร แสงอรุณ รองคณบดีฝ่ายวิชาการและวิจัย
อาจารย์ ดร.ปฐมาภรณ์ ชัยกูล รองคณบดีฝ่ายแผนและประกันคุณภาพการศึกษา
อาจารย์ขุนแผน ปฏิมาประกร รองคณบดีฝ่ายพัฒนานักศึกษา
นางสาวรัชนิวัลย์ มูลสีละ หัวหน้าสำนักงานคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

บรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. วิเชียร แสงอรุณ	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ แสงสุระ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.นาวี กังวาลย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดมรัตน์ ทิพวรรณ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย สะตะ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คมกฤช ปิติฤกษ์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัตร นานันท์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ตรีรุจิราภาพงศ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษณุ ทองเล็ก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ระวี ระวิกุล	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ปณัสย์ชัย เชษฐโชติศักดิ์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ เหล็กโคกสูง	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฐิติกานต์ สมบูรณ์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรียา เจียรศิริสมบูรณ์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ผู้ประสานงาน

นางประวีณา เนื่องรินทร์	มทร.อีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

การพิจารณาบทความ

ต้นฉบับบทความจะได้รับการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) ในสาขาวิชานั้น ๆ ไม่น้อยกว่า 3 ท่าน โดยเป็นการประเมินแบบอำพรางสองฝ่าย (Double Blind) และส่งผลการพิจารณาแก่ผู้เขียน เพื่อปรับปรุงแก้ไขบทความ หรือพิมพ์ต้นฉบับใหม่แล้วแต่กรณี เมื่อบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและกองบรรณาธิการแล้ว ผู้เขียนจะได้รับการตอบรับตีพิมพ์บทความในวารสาร

กำหนดเผยแพร่

จัดพิมพ์เผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ (วารสารราย 6 เดือน)

ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน

ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม

ลิขสิทธิ์

งานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น 150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

อาคาร 50 ปี เทคนิค ไทย-เยอรมัน ขอนแก่น ชั้น 2 (ห้องแผนกงานวิชาการและวิจัย)

โทรศัพท์ 043-283700 กด 83120 โทรสาร 043-338870

E-mail : jeir.eng.rmuti@gmail.com

Website : https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JEIRKKC

พิมพ์ที่

โรงพิมพ์ ค้ำคูณดี-ไซน์ 123 หมู่ 8 ตำบลน้ำพอง อำเภอน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น 40140

เบอร์โทร 081-1472506, 089-7136877

บทบรรณาธิการ
Editorial

วารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ฉบับนี้เป็นฉบับประจำปีที่ 1 ฉบับที่ 2 เนื้อหาของบทความยังคงเนื้อหาสาระที่เกี่ยวกับการศึกษาวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและเทคโนโลยี รวมถึงงานวิจัยสหวิทยาการและสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง ทั้งในรูปแบบบทความวิชาการและบทความวิจัย ประกอบด้วยบทความวิชาการ จำนวน 1 เรื่องคือ อิทธิพลทางการศึกษาของประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีที่มีต่อเทคนิคศึกษาของประเทศไทย ส่วนบทความวิจัย จำนวน 4 เรื่อง ประกอบด้วย 1. การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์ซีพี 888 ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด 2. การลดของเสียประเภทโฟมนิ่มในสายการผลิตเรือด้วยโฟมอีพีเอส กรณีศึกษา : บริษัทตัวอย่าง 3. A connection between hybrid one-sided hyperideals and bi-hyperideals in hypersemigroups 4. การสร้างแบบจำลองสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟแบบแขนเดียวในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะ 25 kV สำหรับรถไฟโดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะ เป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณที่ท่านผู้อ่านได้ให้ความสนใจติดตามวารสารวิศวกรรมศาสตร์และการวิจัยเชิงนวัตกรรมมาอย่างต่อเนื่อง พบกันใหม่ฉบับหน้า

หากผู้เขียนหรือผู้อ่านท่านใดมีข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อวารสาร สามารถส่งมาได้ที่เบอร์โทรศัพท์ 043283700 กด 83120 โทรสาร 043-338870 หรืออีเมล์ jeir.eng.rmuti@gmail.com ทางกองบรรณาธิการจะนำไปพิจารณาปรับปรุงวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้นต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร.วิเชียร แสงอรุณ
บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ Contents

บทความ	หน้า
การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์ซีพี 888 ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด อรุชา คุณเจริญหิรัญ, เจตน์สฤษฎ์ กันยาประสิทธิ์, ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์ และภูกิจ คุณเจริญหิรัญ	1
การลดของเสียประเภทโฟมนิ่มในสายการผลิตเรือด้วยโฟมอีพีเอส กรณีศึกษา : บริษัทตัวอย่าง ภูมิ จาตุนิตานนท์, จุฑาทิพธ์ ลีลาธนาพิพัฒน์ และติกะ บุนนาค	10
A connection between hybrid one-sided hyperideals and bi-hyperideals in hypersemigroups จิรพงษ์ เมฆเวียน และนฤปนาท เหล็กโคกสูง	19
การ**สร้างแบบจำลองสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟแบบแขนเดียว ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะ 25 kV สำหรับรถไฟโดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ** อารักษ์ บุญมาตย์ และพงษ์พิสิฐ สายคำ	25
อิทธิพลทางการศึกษาของประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี ที่มีต่อเทคนิคศึกษาของประเทศไทย ธงชัย สมบูรณ์	34

การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์ซีพี 888 ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด

A Study on The Effect of Drying of CP 888 Maize with Hybrid Solar Dryer

อรุชา คุณเจริญหิรัญ[1*], เจตน์สฤษฎ์ กันยาประสิทธิ์[2] , ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์[2] และ ภูกิจ คุณเจริญหิรัญ[3]

[1] สาขาวิชาช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพขอนแก่น อำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น 40180

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลภาควิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

[3]สาขาวิชาเทคโนโลยีท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40000

*Corresponding Author: aruchaforwork@gmail.com, Telephone Number 094-2955890

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องอบข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์ซีพี 888 โดยใช้ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์ ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความชื้น และ อุณหภูมิ ที่มีต่อการอบข้าวโพดแบบทั้งฝัก โดยมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 25-20% มาตรฐานเปียก อบจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ 14% มาตรฐานเปียก ควบคุมอุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส และควบคุมความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อย่างไรก็ดีในกรณีที่ใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียวจะไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความเร็วลมได้ ซึ่งระบบไฮบริดจะเริ่มทำงานก็ต่อเมื่ออุณหภูมิในห้องอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่กำหนด ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งเฉลี่ย 293 244 และ 160 นาที ตามลำดับ ผลวิเคราะห์ พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดน้อยลง ถึงแม้ความชื้นเริ่มต้นจะต่างกันเพียงเล็กน้อย

คำสำคัญ: การอบแห้ง, ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์ซีพี 888, ความชื้น, พลังงานแสงอาทิตย์

Abstract

This research presents to design and develop a of CP 888 maize dryer by using hybrid solar-electrical energy dryer. Drying characteristics were analyzed based on factors such as humidity and temperature. The initial moisture content was at 25-20% (wet basis) until the final moisture content of sample reached 14% (wet basis). The drying experiments were carried out at drying temperatures of 40°C, 50°C and 60°C, hot air velocity of 1 m/s by control cabinet with dryer. In the case of using only sunlight, the temperature cannot be controlled. The hybrid system starts working when the ambient temperature is lower than the setting temperature. The experimental results showed that the drying temperature of 40°C, 50°C and 60°C for the average drying time of 293, 244 and 160 minutes, respectively. The results revealed that the increases in drying temperature caused a decrease in drying time. Although, the initial moisture content differs slightly.

Keywords: drying, CP 888 maize, moisture content, solar energy

บทนำ

ข้าวโพด (Corn) เป็นพืชไร่ชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในประเทศไทย รองจากข้าวเจ้าและข้าวสาลี ในปี พ.ศ. 2554/55 – 2559/60 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตข้าวโพด 4.61 ล้านตัน อัตราการผลิตข้าวโพดลดลงร้อยละ 1.94 มีเนื้อที่เพาะปลูก 7.15 ล้านไร่ อัตราของเนื้อที่การเพาะปลูกลดลง 1.09 ล้านไร่ ซึ่งการใช้ข้าวโพดในประเทศ 5.72 ล้านตัน มีอัตราการใช้ข้าวโพดในประเทศเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.39 มีปริมาณการส่งออกข้าวโพด 0.22 ล้านตัน อัตราการส่งออกข้าวโพดเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.44 คิดเป็นมูลค่าการส่งออกข้าวโพด 1.88 ล้านบาท มูลค่าอัตราการส่งออกข้าวโพดเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.74 พันธุ์ข้าวโพดที่ปลูกขึ้นอยู่กับความต้องการของการนำใช้ประโยชน์ ถ้าปลูกเพื่อใช้เมล็ดต้องใช้พันธุ์ที่มีผลิตผลของเมล็ดสูง แต่ถ้าปลูกเพื่อตัดต้นสดไปหมักหรือให้สัตว์กินมักจะใช้พันธุ์ที่มีลำต้นสูงหรือพันธุ์ที่มีการแตกกอมาก เพื่อที่จะได้ปริมาณต้นและใบมาก ส่วนข้าวโพดฝักอ่อนนิยมใช้พันธุ์ที่มีหลายฝักต่อต้น เช่น ข้าวโพดหวาน เป็นต้น ซึ่งสามารถจำแนกข้าวโพดตามพฤกษศาสตร์ โดยการจำแนกแบบนี้จะถือเอาลักษณะของแป้งและเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นหลักสำคัญ ซึ่งจำแนกออกเป็น 7 ชนิด คือ 1.ข้าวโพดหัวบุบ (Dent corn) 2.ข้าวโพดหัวแข็ง (Flint corn) 3.ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) 4.ข้าวโพดคั่ว (Popcorn) 5.ข้าวโพดแป้ง (Flour corn) 6.ข้าวโพดป่า (Pod corn) และ 7.ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy corn) [1-2]

รูปที่ 1 ข้าวโพดพันธุ์ ซี.พี. 888

ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์สายพันธุ์ ซีพี 888 มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ Zea mays Linn พันธุ์ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ฯ เป็นพันธุ์ของบริษัท กรุงเทพอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ จำกัด ความสูงต้น 215 เซนติเมตร ความสูงฝัก 125 เซนติเมตร อายุถึงวันออกไหม 56 วัน ผลผลิต 1,200 กิโลกรัมต่อไร่ เปอร์เซ็นต์กะเทาะเมล็ด 81 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งคุณค่าด้านโภชนาการจะให้พลังงานสูง มีพลังงานใช้ประโยชน์ได้ในสุกรและสัตว์ปีเท่ากับ 3,168 และ 3,370 กิโลแคลอรี่/กิโลกรัม มีโปรตีนต่ำประมาณ 8-9 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดอะมิโนไลซีน ทริฟโตเฟนและเมทไธโอนีนต่ำ และมีระดับแคลเซียมต่ำแต่ฟอสฟอรัสสูง [3]

ข้าวโพดสามารถปลูกได้ปีละ 2 ครั้ง และมีช่วงการเก็บเกี่ยวอยู่ในช่วงต้นฤดูฝนกับปลายฤดูฝน ข้าวโพดที่ถูกเก็บเกี่ยวใหม่จะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดให้มีความชื้นที่เหมาะสม ปลอดภัยจากการเข้าทำลายของเชื้อรา โดยเฉพาะเชื่อ อะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ซึ่งมีพิษต่อผู้บริโภค เมล็ดข้าวโพดควรมีความชื้นไม่เกิน 14% มาตรฐานเปียก จะช่วยให้ปลอดภัยต่อการปนเปื้อนของเชื้ออะฟลาทอกซินได้

ในอดีตเกษตรกรจะใช้วิธีการทำแห้งด้วยการตากแดด (Sun Drying) ซึ่งมีต้นทุนต่ำแต่วิธีนี้มีการสูญเสียเนื่องมาจาก นก หนู แมลง การตกหล่น เป็นต้น และต้องใช้พื้น 2 ที่ ระยะเวลา และแรงงานคนมาก รวมถึงอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับสภาวะอากาศทำให้ไม่สามารถตากให้ผลผลิตแห้งได้ ต่อมาได้พัฒนานำเทคโนโลยีมาใช้ โดยการทำแห้งด้วยความร้อน (Hot Air Drying) ซึ่งวิธีการทำให้แห้งด้วยความร้อนจะใช้ตู้อบที่มีลมร้อนเป่าผ่านทำให้น้ำที่อยู่ในผลผลิตระเหยไปกับลมร้อนทางช่องระบายลมภายในตู้อบ [4] ซึ่งทำให้ผลผลิตมีความชื้นลดลงตามที่ต้องการ และมีความชื้นสม่ำเสมอ

ผลผลิตที่ทำแห้งโดยวิธีนี้จะมีคุณภาพที่ดีและสะอาด ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดดซึ่งในการอบแห้งหรือการลดความชื้นมีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพืชทั้ง ทางกายภาพ ทางเคมี และชีวภาพ คุณภาพทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความชื้นและการหดตัวของเมล็ดพืชระหว่างการอบแห้ง ซึ่ง

ส่งผลให้เกิดการแตกร้าวหรือแตกหักในเมล็ดพืช คุณภาพทางเคมีในเมล็ดพืชบางชนิด ได้แก่ กลิ่น สี ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning reaction) และคุณค่าทางอาหาร เป็นต้น คุณภาพทางชีวภาพ ได้แก่ ความสามารถในการงอกของเมล็ดพืช [5]

รูปที่ 2 การนำข้าวโพดตากแดด

จากที่กล่าวมาข้างต้นทางคณะผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งจะมีเป็นฤดูกาล แต่การบริโภคมีตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาที่ดีเพื่อรักษาทั้งคุณภาพและปริมาณซึ่งความชื้นที่เหมาะสม [6] สำหรับการเก็บรักษามีค่าไม่เกิน 14 % มาตรฐานเปียก ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการอบแห้งหรือการลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตร ที่เป็นกระบวนการด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสียและสามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลานานขึ้น โดยเฉพาะการอบแบบไฮบริดที่ใช้ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์ทำงานร่วมกัน [7] และราคายังไม่สูงเหมือนเครื่องอบแบบลมร้อน (Hot Air Drying) อีกทั้งระบบไฮบริดสามารถอบแห้งได้ในขณะที่ฝนตกและมีความชื้นสูง อีกทั้งการใช้แสงอาทิตย์อย่างเดียวก็ให้ความร้อนสูงกว่าการตากแดดแบบธรรมดา [8]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์คือ เพื่อศึกษาการออกแบบและพัฒนาเครื่องอบข้าวโพดโดยใช้ไฟฟ้าและแสงอาทิตย์ และเพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ที่มีต่อการอบข้าวโพดแบบทั้งฝัก [9-11]

วิธีดำเนินงาน

1. การเตรียมวัสดุดูดซับเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองหาความชื้นเริ่มต้น

1) ตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven)

2) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล ทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยความละเอียดในการอ่านได้ 0.01 กรัม

3) ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture can)

1.2 ขั้นตอนการวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้น

1) ทดลองที่ตึก 14 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

2) การวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้นทำตามวิธีการมาตรฐานของ AOAC (1990) Association of Official Agricultural Chemists. [12]

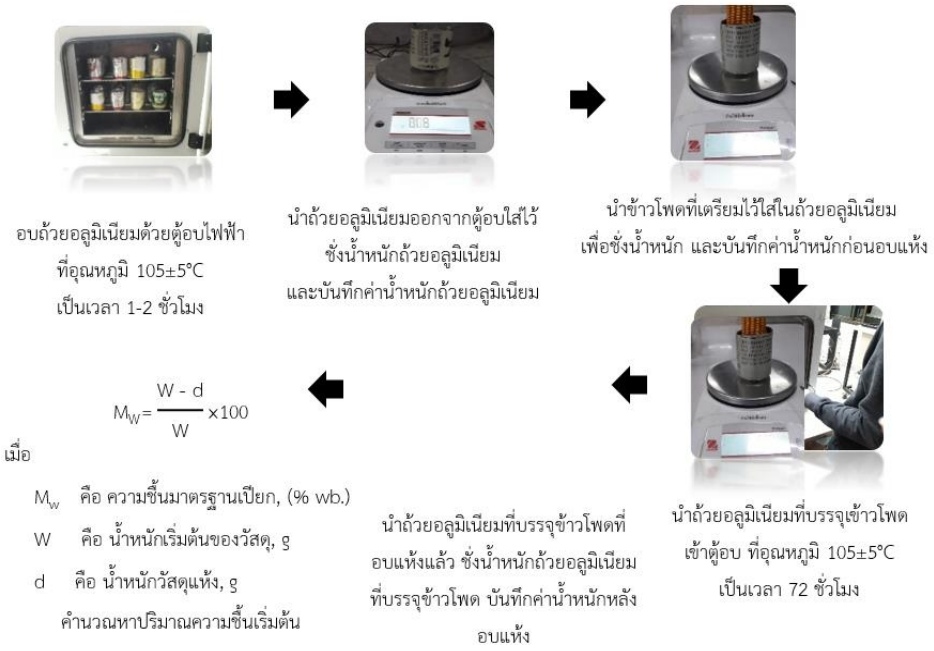
3) อบถ้วยอลูมิเนียมในตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง นำถ้วยอลูมิเนียมออกจากตู้อบปล่อยทิ้งไว้ จนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยอลูมิเนียมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

4) ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่เตรียมไว้แล้วนำข้าวโพดที่เตรียมไว้ใส่ในถ้วยอลูมิเนียม เพื่อชั่งหาน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักก่อนอบแห้ง

5) นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุข้าวโพดที่ต้องการหาค่าปริมาณความชื้นเริ่มต้นเข้าตู้อบ เพื่ออบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

6) นำถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุข้าวโพดที่อบแห้งแล้วปล่อยทิ้งไว้ จนกระทั่งอุณหภูมิของถ้วยอลูมิเนียมลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่บรรจุข้าวโพด บันทึกค่าน้ำหนักหลังอบแห้ง

7) ทำซ้ำเช่นเดียวกับข้อ 5 และ 6 จนได้ผลต่างของน้ำหนักแห้งที่ชั่งทั้งสองครั้ง แล้วนำไปคำนวณดังสมการที่ (1) และ (2) [13]



รูปที่ 3 การวัดปริมาณความชื้นเริ่มต้น

การคำนวณหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดข้าวโพด ดังสมการ [14]

ความชื้นมาตรฐานเปียก (% Wb.)

$$M_w = \frac{W - d}{W} \times 100 \qquad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% db.)

$$M_d = \frac{W - d}{d} \times 100 \qquad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, (% Wb.)
M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, (% db.)
W คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุ, g
d คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง, g

1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองในการทดลองกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด

1) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2) เครื่องวัดค่าแสงอาทิตย์

3) เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data Logger)

4) เทอร์โมคัปเปิล

5) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้ง (1) ฮีตเตอร์ (Heater) ขนาด 1,500 วัตต์ จำนวน 2 ตัว ทำหน้าที่ ให้ความร้อนภายในห้องอบแห้ง (2) ชุดระบบควบคุม ทำหน้าที่ ควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วลม (3) พัดลม ขนาด 350 วัตต์ 2 ตัว และขนาด 120 วัตต์ 2 ตัว ทำหน้าที่ เป่าลมให้หมุนเวียนภายในห้องอบแห้ง ดังรูปที่ 4

รูปที่ 4 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด

1.4 ขั้นตอนการทดลองกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ดังรูปที่ 5

1) ทดลองในสาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

2) เตรียมข้าวโพดก่อนอบแห้ง ชั่งน้ำหนักข้าวโพด 10 กิโลกรัม

3) ตั้งค่าเครื่องอบแห้งก่อนการทดลอง ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากต้องการศึกษาและวิเคราะห์ผลต่างของระดับอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิปานกลาง และอุณหภูมิสูง

4) กำหนดควบคุมความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที เนื่องจากความเร็วลมมีผลค่อนข้างน้อยในการอบแห้งเมื่อเปรียบเทียบกับผลจากอุณหภูมิ และเพื่อต้องการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิกับเวลาของการอบแห้ง

5) เปิดเครื่องอบแห้งทิ้งไว้ 10 นาที ให้เครื่องอบแห้งอยู่ในสภาวะคงที่ก่อนทำการทดลอง

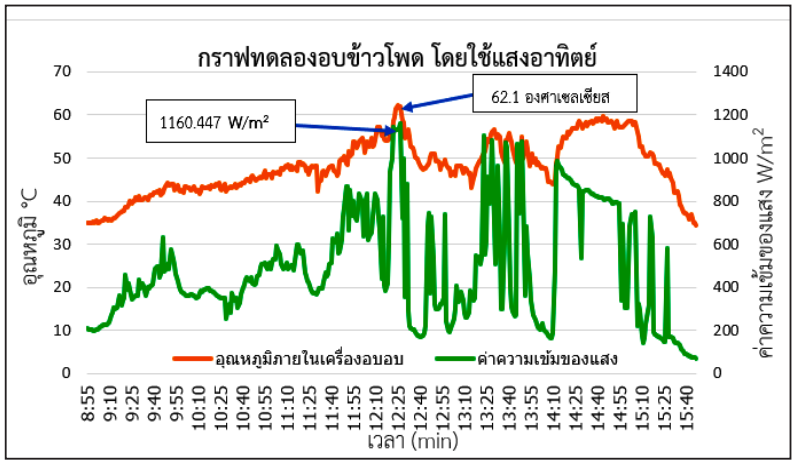
6) นำข้าวโพดเข้าเครื่องอบแห้ง ตั้งค่าบันทึกอุณหภูมิอัตโนมัติ ทุก ๆ 1 นาที และทำการชั่งน้ำทุก ๆ 1 ชั่วโมง ตลอดการอบแห้งจนกระทั่งได้น้ำหนักข้าวโพดหลังอบแห้งที่ความชื้นสุดท้าย 14% มาตรฐานเปียก ซึ่งได้จากการคำนวณ

หมายเหตุ: ทำการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

เนื่องจากผู้จัดทำได้ทำการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไฮบริด โดยทดสอบอยู่ 3 สภาพอากาศ โดยวันที่มีแดดแจ่มใสท้องฟ้าแจ่มใสใช้เฉพาะแสงอาทิตย์ และวันที่อากาศแจ่มใสโดยใช้ระบบไฮบริดและวันที่ฟ้าครึ้มและฝนเกือบทั่วไป ท้องฟ้าแจ่มใส (Fine) ท้องฟ้าไม่มีเมฆหรือมีแต่น้อยกว่า 1 ส่วนของท้องฟ้ามีอุณหภูมิต่ำสุด 23-25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด 28-34 องศาเซลเซียส ฝนเกือบทั่วไป (Almost Widespread) หมายถึง มีฝนตกตั้งแต่ 60% ขึ้นไป แต่ไม่เกิน 80% ของพื้นที่ : กรมอุตุนิยมวิทยา (19/8/2020) จากรูปที่ 6 เครื่องอบมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 62.1 องศาเซลเซียสที่เวลา 12.27 น. และมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ 35 องศาเซลเซียส ที่เวลา 08.56 น. แกนตั้งฝั่งซ้ายสีเขียวจะเป็นค่าความเข้มของแสง มีหน่วยเป็น W/m^2 และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1160.447 W/m^2 ที่เวลา 12.27 น. และมีค่าแสงต่ำสุดที่ 66.81564 W/m^2 ที่เวลา 15.47 น. ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อค่าของแสงลดลง

รูปที่ 5 ขั้นตอนการอบแห้ง



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความเข้มของแสง

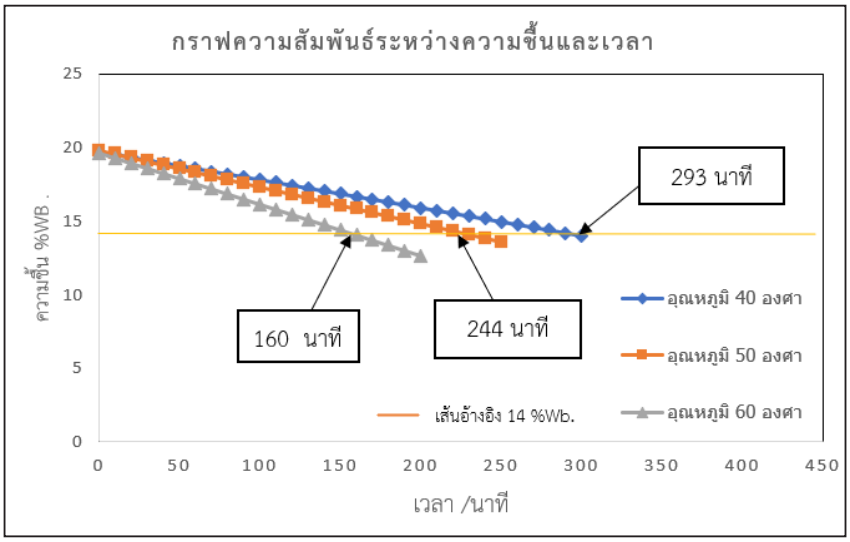
อุณหภูมิในเครื่องอบจะลดลงตามไปด้วยและอุณหภูมิจะไม่คงที่ขึ้นอยู่กับแสงอาทิตย์ซึ่งบ่ายของวันที่19/8/2563 โดนพายุระดับ 4 (โซนร้อนกำลังแรง “ฮีโกส”) : กรมอุตุนิยมวิทยา ในวันที่ 19 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการอบแห้งข้าวโพดที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยกำหนดควบคุมความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และอบจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ 14% มาตรฐานเปียก พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยนานที่สุด ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลหรือการระเหยน้ำออกจากข้าวโพดได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

ผลการอบแห้งเมล็ดข้าวโพดได้สอดคล้องกับผลการทดลองอบแห้งของนักวิจัยหลายท่าน อาทิ เช่น Ibrahim Doymaz, (2005) [15, 16] ได้ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งของถั่วเขียว โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบชั้นบาง ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศแห้งทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง จากผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการอบแห้งข้าวโพด จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดน้อยลง ถึงแม้ความชื้นเริ่มต้นจะต่างกันเพียงเล็กน้อย และ L. Kocsis et al, (2011) [17] ได้ศึกษาทดลองการอบแห้งข้าวโพด โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบนำร่อง ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิหรือความเร็วของอากาศ จะสามารถลดเวลาการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของข้าวโพดกับเวลาที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ และอบจนความชื้นสุดท้ายประมาณ 14% มาตรฐานเปียก พบว่าผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้น 19.72% มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 293 นาที หรือประมาณ 5 ชั่วโมง ผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้น 19.84% มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 244 นาที หรือประมาณ 4 ชั่วโมง และผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ข้าวโพดมีความชื้นเริ่มต้น 19.67% มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 160 นาที หรือประมาณ 2 ชั่วโมง ข้อมูลการทดลองอบแห้ง

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลาของการอบแห้งข้าวโพดที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยกำหนดควบคุมความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และอบจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ 14% มาตรฐานเปียก พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นของข้าวโพด

องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยนานที่สุด ในขณะที่การอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ยน้อยที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลหรือการระเหยน้ำออกจากข้าวโพดได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดน้อยลง ถึงแม้ความชื้นเริ่มต้นจะต่างกันเพียงเล็กน้อย

สรุปผลการทดลอง

1) ผลวิเคราะห์การทดลองเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ทำการทดลองอยู่ 3 สภาพอากาศ คือ มีแสงอาทิตย์ ไม่มีแสงอาทิตย์ และฝนตก พบว่า ในกรณีที่มีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิถึง 35 องศาเซลเซียส ฮีตเตอร์จะยังไม่ทำงาน ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 35 องศาเซลเซียส ฮีตเตอร์จะทำงานเพื่อให้อุณหภูมิในตู้อบร้อนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้มีฝนตก

2) ผลวิเคราะห์การทดลองอบแห้งข้าวโพด ทดลองด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด โดยควบคุมความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที โดยใช้ฟ้าฟ้าในการอบแห้ง ข้าวโพดชุดที่จะทดลองอบแห้งของอุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 19.72% 19.84% และ 19.67% มาตรฐานเปียก และอบจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายประมาณ 14% มาตรฐานเปียก พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งเฉลี่ย 293 นาที 244 นาที และ 160 นาที โดยใช้ระบบไฮบริด จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดน้อยลง ถึงแม้ความชื้นเริ่มต้นจะต่างกันเพียงเล็กน้อย

3) ผลวิเคราะห์การทดลองอบแห้งข้าวโพด ทดลองด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด โดยทดสอบอบแห้ง 3 สภาพอากาศ

4) แบบที่ 1 อากาศแจ่มใสมีแดด มีความชื้นเริ่มต้นที่ 19.72% มาตรฐานเปียกใช้เวลาที่ 260 นาทีได้ความชื้น 14% มาตรฐานเปียกอุณหภูมิเฉลี่ยที่ใช้อบอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียสเนื่องจากการใช้แสงแดดไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบได้

จากผลการวิเคราะห์ทดลองอบแห้งข้าวโพดข้าว จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของข้าวโพดข้าวในทุกด้านและอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งข้าวโพดคืออุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และการอบแบบไฮบริดในสภาพอากาศที่แตกต่างกันยังทำได้ไม่ดี

เท่าที่ควร เพราะกรณีที่มีฝนตกจะมีความชื้นที่สูงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรสภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการเกษตร, 2547. **เอกสารวิชาการข้าวโพดเลี้ยงสัตว์.** ลำดับที่ 11 หน้า 86. อ้างถึง USDA. 1968.

[2] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2552. **กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: ข้าวโพดเมล็ดแห้ง.** มาตรฐานสินค้าเกษตร มกษ. 4002-2552, สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ.

[3] การพัฒนาพันธุ์ข้าวโพด, 2015. **การจำแนกชนิดของข้าวโพด.** สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[4] เดชสุวรรณ คำอ้อ, 2562. **การศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งที่มีผลต่อปริมาณแอนโทไซยานินในเมล็ดข้าวโพดข้าวเหนียวสีม่วง.** หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

[5] พิมล วุฒิสินธ์ และนิทัศน์ ตั้งพินิจ, 2536. **ทดสอบการเพิ่มความชื้นให้กับเมล็ดข้าวโพดที่รักษาไว้นาน.** กรุงเทพมหานคร: การวิจัย กองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

[6] ยรรยง ศรีสม, 2550. **เครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ระบบลมแห้ง.** กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] วิบูลย์ เทเพนทร์, 2009. **เครื่องลดความชื้นเมล็ดพืชที่ผลิตในประเทศ.** สถาบันวิจัยเกษตรวิศวกรรม, กรมวิชาการเกษตร.

[8] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท.** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. พิมพ์ครั้งที่ 7.

[9] เสริม จันทร์ฉาย, 2560. **เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานรังสีอาทิตย์** (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครปฐม: เพชรเกษมพริ้นติ้ง.

[10] เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2561. **เคล็ดลับเลือกเมล็ดพันธุ์ ช่วยปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ให้ได้ผลดี.** สืบค้น 11 มิถุนายน2565, จาก https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_90220

[11] เกษตรก้าวไกล, 2559. **กรมวิชาการเกษตรเสริมแกร่งเกษตรกร "ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดลูกผสม" ใช้เอง**. สืบค้น 11พฤษภาคม 2566, จาก https://www.kasetkaoklai.com/home/2017/09

[12] A.O.A.C., 1990. Official Methods of Analysis. 15th Edition, **Association of Official Analytical Chemist.** Washington DC.

[13] Lingayat, A., Chandramohan, V. P., and Raju, V. R. K. (2017). Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying**.** *Energy Procedia*, vol. 109, March 2017, pp. 409-416.

[14] Gulcimen, F., Karakaya, H., and Durmus, A. (2016). Drying of sweet basil with solar air collectors. *Renewable Energy,* vol. 93, August 2016, pp. 77-86.

[15] Doymaz, I. (2005). Drying behaviour of green beans**.** *Journal of Food Engineering*, vol. 69(2), July 2005, pp. 161-165.

[16] Doymaz, I. and Pala, M.(2002). Hot-air drying characteristics of red pepper, *Journal of Food Engineering,* vol. 55(4), December 2002, pp. 331-335.

[17] Kocsis, L. Herdovics, M. Deákvári, J. and Fenyvesi, L. (2011).Corn drying experiments by pilot dryer. *Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue*, vol. 1, pp. 91-97.

การลดของเสียประเภทโฟมนิ่มในสายการผลิตเรือด้วยโฟมอีพีเอส กรณีศึกษา : บริษัทตัวอย่าง
The reduction of soft foam issues in shipbuilding production line using EPS foam: A Case study

ภูมิ จาตุนิตานนท์[1*], จุฑาทิพธ์ ลีลาธนาพิพัฒน์ [2] และ ติกะ บุนนาค[1]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิตอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

*Corresponding Author: poom@pim.ac.th, 086-3764025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการลดของเสียประเภทโฟมนิ่มในสายการผลิตเรือด้วยโฟมอีพีเอสของบริษัทตัวอย่าง จากการศึกษาพบว่าหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียประเภทโฟมนิ่มเกิดจากกระบวนการนำโฟมอีพีเอสไปอบไอน้ำ ซึ่งปัจจัยการควบคุมเวลาในการอบไอน้ำในแม่พิมพ์โฟมอีพีเอสมีผลต่อความนิ่มและการเกาะตัวของเม็ดโฟม โดยการใช้คนควบคุมการผลิตในกระบวนการอบไอน้ำส่งผลต่อโอกาสการเกิดความผิดพลาดกับคุณภาพของโฟม ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดของเสียประเภทโฟมนิ่ม ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการนิ่มของโฟมอีพีเอส และออกแบบวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการนำเครื่องอบไอน้ำแบบกึ่งอัตโนมัติแทนที่การอบไอน้ำด้วยคน จากการศึกษาพบว่าการกำหนดเวลามาตรฐานในการอบไอน้ำในแม่พิมพ์สามารถปรับปรุงคุณภาพของโฟมอีพีเอสได้ตรงตามความต้องการ และกระบวนการนำเครื่องกึ่งอัตโนมัติมาใช้ปรับปรุงกระบวนการอบไอน้ำสามารถลดปัญหาโฟมนิ่มได้ 88%

คำสำคัญ: โฟมนิ่ม, กระบวนการผลิตโฟม, การอบโฟม, โฟมอีพีเอส

Abstract

This research investigates the issue of soft foam of shipbuilding in the production line of EPS foam in a case study. One of the factors leading to soft foam problem is the process of steaming the EPS foam. The control of the steaming time in the EPS foam mold affects the softness and adhesion of the foam beads. Due to the difficulty of controlling the quality of foam consistently, production control during the steam injection process is necessary. Therefore, this research aimed to identify factors affecting the softness of EPS foam, and to design a solution by replacing human operator with semi-automatic steam injection machine. Standardizing the injection time of steam into EPS foam mold can improve the quality of the EPS Foam. By using a semi-automatic machine, the steam injection process can reduce the problem of soft foam by 88%.

Keywords: Softness foam, foam production line, steaming foam, EPS foam (Expandable polystyrene)

บทนำ

กระบวนการผลิตโฟมอีพีเอสเป็นกระบวนการผลิตโฟมชนิดหนึ่ง ซึ่งนำเม็ดพลาสติกเรซิ่นที่เกิดจากส่วนเหลือจากขั้นตอนการผลิตปิโตรเลียมมาทำการบรรจุสารพองตัว (Blowing agent) เช่น ก๊าซเพนเทน (Pentane) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีลักษณะใสไม่มีสีมีกลิ่นอ่อน ๆ ใช้เป็นก๊าซที่ใช้เติมในกระบวนการผลิตโฟมอีพีเอส (Expanded Polystyrene) ซึ่งมีคุณสมบัติคือ น้ำหนักเบาและสามารถกันการกระแทกได้ดีโดยหนึ่งในกระบวนการกระบวนการผลิตโฟมอีพีเอสจะมีกระบวนการให้ความร้อนจากไอน้ำ (Steam) ทำให้เกิดเป็นเม็ดโฟมอีพีเอสสีขาวมีลักษณะเป็นเซลล์ปิดและเมื่อขยายตัวจะมีอากาศเข้าไปแทนที่ถึง 98% และมีเนื้อพลาสติกเรซิ่นเพียง 2% ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โฟมมีขนาดใหญ่ แต่กลับมีน้ำหนักที่เบา จากนั้นจึงนำโฟมไปขึ้นรูปโฟมบล็อกและโฟมโมลด์ตามรูปแบบต่าง ๆ โฟมอีพีเอสเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปในเรื่องคุณสมบัติคือ น้ำหนักเบา แต่สามารถรับน้ำหนักได้ดี นอกจากนั้นแล้วยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน เก็บความเย็น และป้องกันการผ่านของเสียงจึงเหมาะสำหรับงานก่อสร้างที่ต้องการประหยัดพลังงานหรืองานรับน้ำหนัก และงานกันการกระแทกรวมทั้งงานที่ต้องการความเบา ซึ่งจะเห็นได้ว่าโฟมอีพีเอสนำไปใช้งานประเภทต่าง ๆ มากมาย เช่น งานก่อสร้างอาคารบ้านแบบประหยัดพลังงาน งานก่อสร้างถนน สะพาน งานก่อสร้างบ้านลอยน้ำ งานกันฉนวนความร้อน งานบรรจุภัณฑ์ งานอุปกรณ์กีฬาทางน้ำ และงานอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทคุณสมบัติที่ต้องการใช้ในงานนั้น ๆ

จากงานวิจัยการลดของเสียในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ผ่านมาส่วนมากผู้วิจัยจะมีการนำเครื่องมือควบคุมคุณภาพและแผนผังกางปลามาใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสีย ซึ่งมีสาเหตุมาจากผู้ปฏิบัติการ เครื่องจักร กระบวนการ และสิ่งแวดล้อม โดยเมื่อทำการวิเคราะห์ได้ถูกต้องถึงสาเหตุที่ถูกต้องจะสามารถลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แผนภูมิพาเรโต้กับเทคนิคทำไม - ทำไม (Why – Why Analysis) ในกระบวนการผลิตโฟมอีพีเอสของบริษัทกรณีศึกษา

จากการศึกษาปัญหาของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตโฟมอีพีเอสกรณีบริษัทศึกษาตัวอย่าง พบว่าปัญหาของเสียที่พบจากแผนภูมิพาเรโต้มากที่สุด 3 ลำดับได้แก่ โฟมมีน้ำหนักเบา โฟมเม็ดหลุด และโฟมนิ่มโดยทางผู้วิจัยเลือกแก้ปัญหาโฟมนิ่มเนื่องจากเป็นปัญหาที่จะต้องทิ้งสินค้าที่ไม่ผ่านคุณภาพ และไม่สามารถแก้ไขได้ในภายหลังซึ่งทางผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม - ทำไม (Why – Why Analysis) คือ การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริง (Root Cause) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบหรือปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ขึ้นด้วยวิธีการอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอนโดยไม่เกิดสภาพการณ์ตกหล่นและซ้ำซ้อนและไม่จินตนาการเอง ดังนั้นเทคนิคทำไม – ทำไม เปรียบเสมือนการมองเห็นผลกระทบและสาเหตุของปัญหาที่พิจารณา

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นหนึ่งในวิธีการลดต้นทุนเพื่อไม่ให้เกิดการผลิตที่สูญเปล่า ซึ่งการสูญเสียที่เกิดจากการผลิตของเสีย และการแก้ไขงาน (Defect and Rework) เป็นหนึ่งในการสูญเสีย 7 ประการ (7 Waste) โดยการสูญเสียจากการผลิตของเสียนั้นหมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ และต้องทำการแก้ไขเพื่อให้ได้มาตรฐานคุณภาพที่ต้องการ ซึ่งการผลิตของเสียนี้จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนการผลิต ค่าแรง ค่าวัตถุดิบ ค่าเชื้อเพลิง และค่าพลังงานในการผลิต นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อเวลาในการผลิตและสามารถทำให้สินค้าในตลาดมีความน่าเชื่อถือลดลง และการแก้ไขงานของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานจำเป็นจะต้องใช้แรงงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเพิ่มขึ้นจากงบประมาณที่เตรียมการไว้หรือในกรณีผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาแล้วไม่ผ่านมาตรฐาน และยังไม่สามารถแก้ไขงานได้ยิ่งส่งผลเสียต่อต้นทุนการผลิต

จากการสืบค้นงานวิจัยด้านการลดของเสียในกระบวนการผลิตมีแนวทางการแก้ไขปัญหาการลดของเสียในการผลิตดังต่อไปนี้ เกรียงไกร ศรีเลิศ [1]

นำเครื่องมือควบคุมคุมภาพ 7 QC Tool [2] และพบว่าขั้นตอนการให้ความร้อนเป็นปัญหาหลักของการชุบแข็งอินดักชัน โดยชิ้นงานที่เสียหายทั้งหมด 1,459 ชิ้น เป็นชิ้นงานที่เสียหายเพราะความร้อนทั้งสิ้น 1,171 ชิ้นต่อเดือน จากนั้นทางผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์จับยึดในกระบวนการให้ความร้อนทำให้สามารถลดจำนวนชิ้นงานที่เสียหายได้

จีรวัฒน์ และศุภวัชร์ [3] ได้ใช้แผนภูมิพาเรโต้และแผนผังกางปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุของผลิตภัณฑ์ที่เสียของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะประเภทขายึดเหล็กพบว่าสาเหตุหลักของการเกิดของเสียนั้นเกิดจากผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ถูกต้อง ซึ่งเมื่อแก้ไขปัญหานี้แล้ว พบว่าปริมาณของเสียลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและเป็นที่พึ่งพอใจของสถานประกอบการ

ยุทธณรงค์ จงจันทร์ [4] ใช้แผ่นตรวจสอบและแผนภูมิพาเรโต้เป็นเครื่องมือควบคุมคุณภาพในการควบคุมของเสียในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ จากนั้นใช้แผนพังกางปลาในการหาสาเหตุของปัญหาการเกิดของเสียจากการการผลิตยาง และพบว่าปัญหาส่วนใหญ่มาจากการนึ่งยางโดยการปฏิบัติงานของพนักงานที่ผิดพลาดส่งผลต่อการนึ่งยางมากที่สุด ซึ่งแนวทางแก้ไขปัญหาคือ ให้ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับกระบวนการนึ่งยางแก่พนักงานเพื่อให้พนักงานปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง

ทะนงศักดิ์ พิทาคำและคณะ [5] ได้ทำการหาสาเหตุการเกิดของเสียในกระบวนการเคลือบผิวคัตติ้งทูลล์ทังสเตนคาร์ไบด์ โดยได้รวบรวมข้อมูลของเสียด้วยแผนภูมิพาเรโต้และใช้แผนพังกางปลาในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดของเสีย พบว่าการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานขาดการตรวจสอบ คราบน้ำมัน และสิ่งสกปรกบนผิวงาน ซึ่งส่งผลให้เกิดของเสีย โดยเมื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว พบว่ากระบวนการเคลือบผิวประเภททังสเตนคาร์ไบด์สามารถลดของเสียที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดได้ร้อยละ 83.3

พิพัฒพงศ์ ศรีชนะ และ พรประเสริฐ ขวาลาธาร [6] ได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในกระบวน การผลิตอิฐบล็อก โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผลพบว่าปัญหาเกิดจากการเพิ่มปูนเข้าไปในส่วนผสมอิฐบล็อกแต่มีปริมาณไม่เพียงพอนอกจากนี้ยังพบว่าขนาดบล็อกไม่เท่ากัน เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้เสนอการฝึกอบรมพนักงานเพิ่มเติมและเฝ้าติดตามการปฏิบัติงานของพนักงานอย่างใกล้ชิด เพื่อให้คุณภาพของการผลิตเพิ่มขึ้นผลลัพธ์ที่ได้คือ ของเสียจากการผลิตลดลงจาก 705 ชิ้น เหลือ 564 ชิ้น

นิพนธ์ มณีโชติ และ ผจงจิต พิจิตบรรจง [7] ได้ทำการวิจัยเพื่อลดปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตยางแท่งโดยทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและวิธีแก้ไขปัญหายางก้อนแห้งไม่สมบูรณ์ในขั้นตอนการอบด้วยด้วยความร้อน ซึ่งสาเหตุจากการวิเคราะห์คือ ตะกงที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุยางก้อนในขั้นตอนการอบมีเศษยางเกาะติดที่ขอบ และรอยต่อ กับระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นช่องในตะกงมีระยะไม่เท่ากันส่งผลให้การกระจายความร้อนในการอบยางก้อนไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแก้ไขโดยการนำตะกงไปทำความสะอาด และซ่อมแซมให้มีระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นช่องเท่ากัน โดยผลจากการปรับปรุงพบว่าปริมาณยางแห้งไม่สมบูรณ์ลดลงร้อยละ 72.25%

ศิรประภา มโนมัธย์ และคณะ [8] ได้ใช้แผ่นตรวจสอบแผนภูมิพาเรโต้ และแผนผังกางปลาเป็นเครื่องมือในการเก็บรวมรวมข้อมูลสาเหตุของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป พบว่าสาเหตุของการเกิดของเสียเกิดจากกระบวนการผลิตที่ผิดขั้นตอน โดยเมื่อทำการแก้ไขแล้วพบว่าสามารถลดร้อยละของเสี่ยจากเดิม 6.17% เหลือ 2.3%

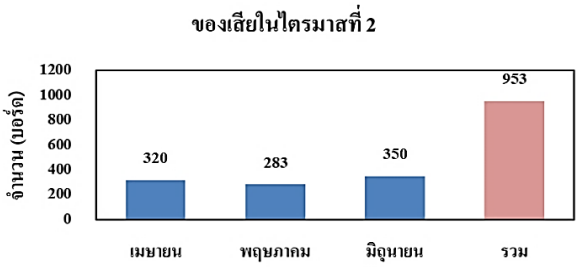
จากงานวิจัยที่สืบค้นพบว่าในแต่ละงานวิจัยใช้กระบวนการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุต้นต่อของปัญหานั้น ๆ เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ตรงประเด็นและมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาจะนิยมใช้แผนผังกางปลาในการหาเหตุและผลของปัญหา และงานวิจัยที่ [4] และ [7] ได้ใช้วิธีเทคนิคทำไม – ทำไม ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริง ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบ หรือปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น ด้วยวิธีการอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จะทำการหาสาเหตุของการเกิดของเสียประเภทโฟมนิ่ม ซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขชิ้นงานได้จากเทคนิคทำไม – ทำไม

จากนั้นจะหาวิธีการแก้ไขปัญหาโฟมนิ่มเพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

วิธีดำเนินงาน

1. การเก็บข้อมูลของเสียจากการผลิตโฟมอีพีเอส

จากการสำรวจข้อมูลของเสียโดยรวม หรือชิ้นงานที่ถูกปฏิเสธจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Reject) ในสายการผลิตโฟมอีพีเอสของบริษัทตัวอย่างตั้งแต่เดือนเมษายน 2565 ถึง เดือนมิถุนายน 2565 หรือไตรมาสที่ 2 พบว่าเดือนเมษายน 2565 มีงานเสียทั้งหมด 320 บอร์ด เดือนพฤษภาคม 2565 มีงานเสียทั้งหมด 283 บอร์ด เดือนมิถุนายน 2565 มีงานเสียทั้งหมด 350 บอร์ด มียอดการผลิตทั้งหมดเท่ากับ 25,607 บอร์ด งานเสียรวมทั้งหมด 953 บอร์ด คิดเป็น 3.72 % จากทั้งหมดที่ผลิตดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กราฟแสดงของเสียในไตรมาสที่ 2 (เมษายน -มิถุนายน 2566)

จากการสำรวจข้อมูลของเสียผู้วิจัยได้เจาะจงปัญหาของเสียของอย่างละเอียดจากของเสียทั้งหมด 953 บอร์ด เป็นปัญหาของเสียในการผลิตโฟมอีพีเอสดังแสดงในตารางที่ 1 จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับของเสีย พบว่าปัญหาของเสีย 3 อำดับแรกที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ โฟมอีพีเอสมีน้ำหนักเบากว่ามาตรฐานอันดับที่ 2 คือ โฟมอีพีเอสเม็ดหลุดในกระบวนการฉีดโฟม หลังจากนำโฟมออกจากแม่พิมพ์เพื่อตรวจสอบคุณภาพผิวโฟมจะพบว่าบริเวณขอบโฟมอีพีเอสมีลักษณะไม่เกาะตัวกันเป็นก้อนเม็ดโฟมหลุดออกจากก้อนโฟมและอันดับที่ 3 คือ โฟมนิ่มพบในกระบวนการฉีดโฟมเช่นกัน หลังจากนำโฟมออกจากแม่พิมพ์เพื่อตรวจสอบคุณภาพผิวโฟม

ตารางที่ 1 ปัญหาของเสียในสายการผลิตโฟมอีพีเอสและการกัดงานซีเอ็นซี

ปัญหาของเสีย	จำนวน (บอร์ด)
EPS น้ำหนักเกิน	47
EPS น้ำหนักเบา	304
PU น้ำหนักเบา	1
จุดกึ่งกลางกล่องโฟมไม่ถูกต้อง	2
กัดบาง	53
กาวไม่ติดไม้สติงเกอร์	32
ขอบโฟมหาย	13
ขอบหนาไม่เท่ากัน	1
ขอบเหลื่อม	4
คราบน้ำมันบนผิวPVC	2
ความหนา 2 ข้างไม่เท่ากัน	2
โฟมนิ่ม	88
เคิร์ฟขอบหาย	2
เคิร์ฟบาง	2
ระยะขนาดโฟมเกินค่าเผื่อ	37
ผิวสีสกปรก ดินสอ ด่างดำ ไม่สะอาด	11
โฟมบาง	9
โฟมเป็นคราบน้ำมัน	10
โฟมเป็นชั้น	2
โฟมเม็ดหลุด	91
โฟมเม็ดห่าง/เม็ดฝ่อ	8
โฟมไม่สมมาตร	9
โฟมไม่ได้ตามไฟล์ CNC	3
โฟมยุบ	2
โฟมละลาย	37
โฟมขาด	8
โฟมใหม้/ละลาย/ขี้กลาก	19
ไม่ได้รูปทรง/เคริฟไม่ได้	40
รอยกระแทก/ยุบ/แตก/ครูด	25

ปัญหาของเสีย	จำนวน (บอร์ด)
รอยน้ำยา	1
รอยลึกจากหัวกัด CNC	11
รูปทรงเสียจากไฟล์งาน	18
เศษขยะฝังในโฟม	8
สติงเกอร์ไม่ได้รูปทรง/แหว่ง	2
เสียจากเครื่อง/เครื่อง Alarm	49
รวม	953

พบว่าเม็ดโฟมหลอมติดกันมากเกินไปเมื่อทดสอบโดนกดแรงลงบนผิวโฟมจะเกิดรอยยุบ ซึ่งโฟมนิ่มจะไม่สามารถนำชิ้นงานกลับมาแก้ไขงานใหม่ได้จำเป็นต้องนำไปทำลายแต่เหตุของปัญหาอันดับ 1 และ 2 นั้นสามารถนำกลับมาแก้ไขงานใหม่ได้ดังนั้นปัญหาโฟมนิ่มกว่ามาตรฐานจึงเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการสูญเสียในการผลิตมากที่สุด

2. การวิเคราะห์สาเหตุปัญหาของเสียโฟมนิ่ม

การวิเคราะห์หาสาเหตุของโฟมนิ่มในขั้นตอนการทำงานฉีดโฟมอีพีเอส โดยใช้หลักการวิธีเทคนิคทำไม – ทำไม ดังแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 การวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดโฟมนิ่มที่สถานีการทำงานฉีดโฟมอีพีเอส

Why	คำถาม	คำตอบ
Why1	ทำไมถึงเกิดโฟมนิ่ม	เพราะผิวโฟมหลอมละลายติดกันมากเกินไป
Why2	ทำไมผิวโฟมหลอมละลายติดกันมากเกินไป	เพราะให้ความร้อนแก่เม็ดโฟมมากเกินไป
Why3	ทำไมให้ความร้อนแก่เม็ดโฟมมากเกินไป	เพราะปล่อยไอน้ำเข้าแม่พิมพ์มากเกินไป
Why4	ทำไมปล่อยไอน้ำเข้าแม่พิมพ์มากเกินไป	เพราะกดฉีดไอน้ำนานเกินไป
Why5	ทำไมกดฉีดไอน้ำนานเกินไป	เพราะพนักงานคาดการณ์เอง ไม่มีตัวชี้วัด

จากตารางที่ 2 เมื่อวิเคราะห์และหาสาเหตุการเกิดโฟมนิ่มที่สถานีการทำงานฉีดโฟมอีพีเอส โดยใช้วิธีเทคนิคทำไม – ทำไม พบว่าการเกิดโฟมนิ่มนั้นเกิดจากการที่ตรวจสอบคุณภาพผิวโฟมในรอบแรกแล้วพบว่าผิวโฟมหลอมละลายติดกันมากเกินไป เนื่องจากให้ความร้อนแก่เม็ดโฟมมากเกินไป นั่นคือการปล่อยให้ไอน้ำซึ่งเป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนแก่โฟมนั้นมากเกินไป เป็นเพราะการกดฉีดไอน้ำเป็นเวลานาน ซึ่งพนักงานประจำสถานีการทำงานฉีดโฟมอีพีเอสคาดการณ์ความพอดีจากความเคยชิน ไม่มีตัวชี้วัด หรือมาตรฐานในการกดฉีดไอน้ำ โดยตัวอย่างลักษณะผิวโฟมของงานเสียที่เกิดจากโฟมนิ่มแสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งผลของโฟมนิ่มนั้นจะทำให้เกิดหลุมบนผิวโฟมเป็นจำนวนมากและเนื้อสัมผัสไม่มีความราบเรียบอันเนื่องมาจากการหลอมละลายของโฟมทำให้เม็ดโฟมติดกันมากเกินไป

รูปที่ 2 ตัวอย่างลักษณะผิวโฟมนิ่ม

การกดฉีดไอน้ำจากพนักงานดังแสดงในรูปที่ 3 ทำได้ โดยการกดปุ่มค้างในการสั่งการให้เครื่องจักรฉีดไอน้ำเข้าไปในแม่พิมพ์หากปล่อยปุ่มไอน้ำก็จะหยุดฉีด โดยพนักงานที่ฉีดไอน้ำจะต้องสังเกตบริเวณเกจวัดความดันไอน้ำว่าอยู่ในระดับเท่าไหร่ ซึ่งจากมาตรฐานการผลิตโฟมของบริษัทตัวอย่างจะควบคุมความดันอยู่ที่ 3.5 – 4 บาร์ โดยพนักงานผู้ควบคุมไอน้ำจะต้องสังเกตไอน้ำที่พุ่งออกมาบนช่องว่างของแม่พิมพ์ หากไม่มีไอน้ำพุ่งออกมาจากช่องว่างของแม่พิมพ์แสดงว่าความร้อนในแม่พิมพ์สำหรับการหลอมเม็ดโฟมนั้นเพียงพอแล้ว แต่ถ้ามีไอน้ำพุ่งออกมาจากช่องว่างของแม่พิมพ์แสดงว่าความร้อนในการหลอมเม็ดโฟมนั้นยังไม่เพียงพอ ซึ่งวิธีการนี้ถือว่าไม่สามารถควบคุม

คุณภาพผิวโฟมได้อย่างสม่ำเสมอ และส่งผลทำให้เกิดกรณีของเสียประเภทโฟมนิ่มตลอดจนในกระบวนการฉีดไอน้ำนี้ยังไม่มีมาตรฐานอย่างชัดเจนในการยืนยันคุณภาพของโฟมอีพีเอส

รูปที่ 3 การควบคุมการฉีดไอน้ำโดยพนักงาน

3. การหาปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาโฟมนิ่ม

ในการฉีดไอน้ำนั้นมี 2 ปัจจัยที่สามารถกำหนดได้จากเครื่องฉีดไอน้ำคือค่าความดันของไอน้ำซึ่งสามารถกำหนดได้ที่ 3.5 และ 4 บาร์ ส่วนอีกตัวแปรที่สามารถกำหนดได้คือ ระยะเวลาในการฉีดไอน้ำโดยขึ้นอยู่กับพนักงานในการกดปุ่มฉีดไอน้ำ โดยทางผู้วิจัยได้สร้างใบตรวจสอบ (Check sheet) สำหรับบันทึกข้อมูลเพื่อตรวจสอบสมมติฐานของค่าความดันของการฉีดไอน้ำที่มีผลต่อการเกิดปัญหาโฟมนิ่ม โดยทำการทดลองฉีดไอน้ำที่ค่าแรงดัน 3.5 บาร์ ด้วยช่วงเวลาการฉีด 34 35 และ 36 วินาทีตามลำดับ จากนั้นทำการสังเกตลักษณะผิวโฟมอีพีเอสว่ามีผิวที่เรียบเนียนหลังกระบวนการหรือไม่ ซึ่งกรณีการเกิดโฟมนิ่มนั้นผิวของโฟมจะมีลักษณะเป็นหลุมปริมาณมากดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทำการทดลอง โดยปรับเปลี่ยนแรงดันที่ใช้ฉีดไอน้ำเป็น 4 บาร์ และทำการฉีดไอน้ำด้วยเวลา 34 35 และ 36 วินาทีตามลำดับ โดยหลังแต่ละการทดสอบจะทำการสังเกตผิวของโฟมว่าอยู่ในลักษณะผิวเรียบเนียนไม่เกิดหลุมที่ผิวเป็นบริเวณกว้างดังแสดงในรูปที่ 2 ก็จะทำการใส่เครื่องหมาย ✓ ในช่องตรวจสอบของใบตรวจสอบแต่ถ้าพบโฟมหลังจากการทดลองมีผิวที่มีหลุมบริเวณกว้าง หรืออยู่ในลักษณะของเสียประเภทโฟมนิ่มก็จะทำการใส่เครื่องหมาย ✕ ในช่องตรวจสอบของใบตรวจสอบดังแสดงในตารางที่ 3 สำหรับบันทึกข้อมูลเพื่อตรวจสอบสมมติฐานของค่าความดันไอน้ำสามารถส่งผลต่อการเกิดปัญหาโฟมนิ่มและตารางที่ 4 จะใช้บันทึกผลของระยะเวลาการฉีดไอน้ำเมื่อกำหนดค่าความดันให้คงที่จะส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิดโฟมนิ่มอย่างไรโดยทำการทดสอบโฟมอีพีเอสจำนวน 6 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 บันทึกข้อมูลตรวจสอบสมมติฐานความดันไอน้ำในขั้นตอนการฉีดไอน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อเม็ดโฟมและความนิ่ม

ตัวอย่างโฟมที่	ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	ความดัน (บาร์)	เวลาการฉีด (วินาที)	ตรวจสอบ
1	38	4	34	✓
2	38	4	35	✓
3	38	4	36	✓
4	38	3.5	34	✓
5	38	3.5	35	✓
6	38	3.5	36	✓

ตารางที่ 4 บันทึกข้อมูลตรวจสอบสมมติฐานระยะเวลาในขั้นตอนการฉีดไอน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อเม็ดโฟมและความนิ่มเมื่อกำหนดแรงดันไอน้ำคงที่

ตัวอย่างโฟมที่	ความหนาแน่น (กรัม/ลิตร)	ความดัน (บาร์)	เวลาการฉีด (วินาที)	ตรวจสอบ
1	38	3.5	43	✕
2	38	3.5	41	✕
3	38	3.5	40	✕
4	38	3.5	34	✓
5	38	3.5	35	✓
6	38	3.5	36	✓

จากตารางที่ 3 พบว่าสถานีการทำงานฉีดโฟมอีพีเอสใช้ความดันในขั้นตอนการฉีดไอน้ำอยู่ที่ 3.5 – 4

บาร์ สามารถสรุปได้ว่าความดันไอน้ำที่แตกต่างกันในระหว่างขั้นตอนการฉีดไอน้ำเข้าแม่พิมพ์นั้นไม่ส่งผลต่อความนิ่มของโฟมอีพีเอส

จากตารางที่ 4 พบว่าสถานีการทำงานฉีดโฟมอีพีเอสใช้ความดันในขั้นตอนการฉีดไอน้ำทำการกำหนดแรงดันไอน้ำให้คงที่อยู่ที่ 3.5 บาร์ สามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาการฉีดไอน้ำที่นานมากเกินไปในระหว่างขั้นตอนการฉีดไอน้ำเข้าแม่พิมพ์นั้นส่งผลต่อความนิ่มของโฟมอีพีเอสจริง เมื่อตรวจสอบคุณภาพผิวโฟมในรอบแรกพบว่าโฟมที่ใช้ระยะเวลานานในการฉีดไอน้ำนานจะทำให้ผิวโฟมนั้นหลอมละลายติดกันมากเกินไปจนทำให้มีลักษณะนิ่มผิวโฟมไม่มีความราบเรียบซึ่งโฟมลักษณะนี้จะไม่ผ่านการตรวจสอบ และไม่สามารถแก้ไขงานได้ทำให้ต้องทิ้งและลงบันทึกว่าเป็นของเสีย หากควบคุมระยะเวลาการฉีดไอน้ำให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันตลอดในขั้นตอนการฉีดไอน้ำนั้นจะไม่ทำให้เกิดโฟมนิ่ม แต่การควบคุมด้วยการสังเกตของพนักงาน รวมถึงกระบวนการทำงานของพนักงานแต่ละบุคคลย่อมมีโอกาสเกิดความผิดพลาด รวมถึงคุณภาพของผิวโฟมที่ได้ไม่มีความสม่ำเสมอโดยเวลาการฉีดไอน้ำที่เหมาะสมจะอยู่ที่ 34 – 36 วินาที

4. แนวทางแก้ไขปัญหาโฟมนิ่ม

ในการหาปัจจัยที่ส่งผลต่อโฟมนิ่มพบว่าความดันในขั้นตอนการฉีดไอน้ำไม่ใช่ปัจจัยที่มีผลต่อเม็ดโฟมและความนิ่ม แต่ระยะเวลาในขั้นตอนการฉีดไอน้ำเป็นปัจจัยที่มีผลต่อเม็ดโฟมและความนิ่ม ดังนั้นหากสามารถควบคุมระยะเวลาในขั้นตอนการฉีดไอน้ำด้วยค่าเวลาที่เท่ากันและแน่นอน แสดงว่าจะสามารถควบคุมคุณภาพผิวโฟมให้มีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกชิ้นงานได้ ทางผู้วิจัยจึงได้เสนอการทดลองปรับเป็นเครื่องควบคุมกึ่งอัตโนมัติ หรือ นำตัวควบคุมลำดับ (PLC) ดังแสดงในรูปที่ 4 เข้ามาช่วยในการทำงานในสถานีการทำงานฉีดไอน้ำสำหรับการขึ้นรูปโฟมอีพีเอส

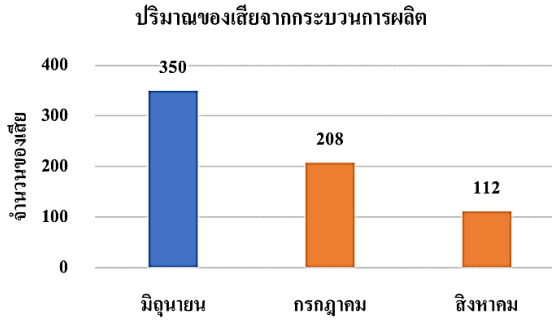
โดยเครื่องควบคุมลำดับในงานวิจัยนี้ใช้รุ่น FX5U ของบริษัทมิตซูบิชิ จำกัด ซึ่งสามารถโปรแกรมการควบคุมลำดับด้วยโปรแกรม GXWORK 3 ผ่านการโปรแกรมปุ่มกดเพื่อให้อุปกรณ์ควบคุมลำดับ PLC ส่งสัญญาณไปที่เครื่องสร้างไอน้ำให้เริ่มการทำงานฉีดไอน้ำที่ถูกกำหนดค่าความดันไอน้ำให้ทำการฉีดไอน้ำตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ในโปรแกรมในหน่วยวินาที และเมื่อถึงระยะเวลาที่กำหนดไว้ในโปรแกรมจะส่งผลให้อุปกรณ์ควบคุมลำดับ PLC ตัดสัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งจะเป็นการหยุดฉีดไอน้ำตามระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม ซึ่งประโยชน์ของการใช้อุปกรณ์ควบคุมลำดับ PLC คือ ความแม่นยำของการกำหนดระยะเวลาการฉีดไอน้ำซึ่งมีความแม่นยำกว่าการให้พนักงานควบคุมการเปิดไอน้ำด้วยตนเอง และใช้นาฬิกาจับเวลาที่ต้องการจ่ายไอน้ำเนื่องจากมนุษย์นั้นจะมีความไม่แน่นอนของการเปิดหรือปิดเครื่องกำเนิดไอน้ำตลอดจนมนุษย์สามารถเกิดความเหนื่อยล้าเมื่อปฏิบัติงานเป็นระยะเวลานาน จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการขึ้นได้ แตกต่างจากอุปกรณ์ควบคุมลำดับ PLC ที่สามารถเปิดปิดเครื่องกำเนิดไอน้ำสำหรับฉีดไอน้ำตามระยะเวลาที่ต้องการและไม่มีความเหนื่อยล้าของมนุษย์มาเป็นปัจจัยของความผิดพลาดที่สามารถเกิดขึ้นได้

รูปที่ 4 เครื่องควบคุมลำดับ (PLC)

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

หลังจากนำเครื่องควบคุมลำดับมาใช้ในการกำหนดเวลาในการฉีดไอน้ำสำหรับการอบโฟมพีอีเอส พบว่าจำนวนของเสียเนื่องมาจากสาเหตุโฟมนิ่มลดลงในเดือน กรกฎาคม 2565 จำนวนของเสียทั้งหมดลดลงเหลือ 208 บอร์ด จาก 350 บอร์ดในเดือนมิถุนายน 2565 ที่เป็นกระบวนการที่ยังไม่ได้ใช้เครื่องควบคุมลำดับในการกำหนดเวลาการฉีดไอน้ำซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียที่ลดลง 40.5 % และ 112 บอร์ด ในเดือนสิงหาคม 2565 ซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียที่

ลดลง 46% โดยกราฟแสดงจำนวนของเสียหลังจากปรับปรุงกระบวนการแสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงจำนวนของเสียหลังปรับปรุงกระบวนการ

โดยโฟมอีเอสพีหลังจากการเปลี่ยนแปลงกระบวนการไปใช้เครื่องควบคุมลำดับในการควบคุมเวลาในการฉีดไอน้ำให้มีเวลาการฉีดเท่ากันทุกครั้งจะไม่เกิดปัญหาโฟมนิ่ม และเนื้อสัมผัสโฟมมีความเรียบเนียนและมีพื้นผิวที่มีความสม่ำเสมอกันดังแสดงในรูปที่ 6

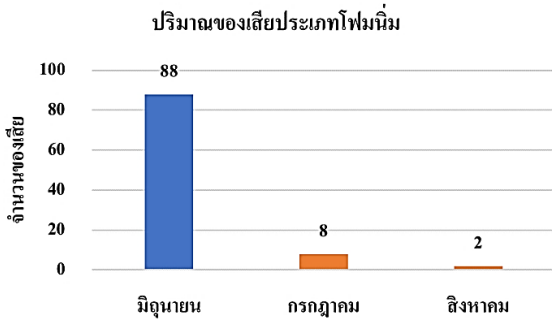
รูปที่ 6 ลักษณะโฟมที่ผ่านมาตรฐาน

การอภิปรายผล

จากผลการทดลองพบว่าการแก้สาเหตุโฟมอีพีเอสนิ่มโดยการนำอุปกรณ์ควบคุมลำดับมาใช้ในการควบคุมเวลาของการฉีดไอน้ำสำหรับกระบวนการอบโฟมนั้นสามารถลดปัญหาโฟมนิ่มได้จากจำนวนของเสียที่ลดลงที่สำคัญสามารถยกระดับความสามารถในการควบคุมคุณภาพผิวโฟมให้มีผิวเรียบสม่ำเสมอกันตลอดชิ้นงาน จากการปรับปรุงกระบวนการพบว่าการกำหนดเวลาฉีดไอน้ำ โดยเครื่องควบคุมลำดับนั้นการฉีดไอน้ำจะถูกตัดโดยอัตโนมัติตามเวลาที่ถูกกำหนดต่างจากการให้พนักงานกดปุ่มฉีดไอน้ำด้วยตนเองซึ่งส่งผลให้การใช้เวลาในการอบโฟมอีพีเอสไม่แน่นอนอันส่งผลต่อการเกิดของเสียชนิดโฟมนิ่ม

สรุปผลการทดลอง

หลังปรับปรุงกระบวนการทำงานของสถานีการทำงานฉีดโฟมอีพีเอส พบว่าปริมาณของเสียลดลงโดยช่วงไตรมาสที่ 2 พบของเสีย 953 บอร์ด โดยเฉลี่ยเดือนละ 317 บอร์ด ครึ่งไตรมาสที่ 3 พบของเสีย 320 บอร์ด โดยเฉลี่ยเดือนละ 160 บอร์ด และปัญหาโฟมนิ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญช่วงไตรมาสที่ 2 พบโฟมนิ่ม 88 บอร์ด โดยเฉลี่ยเดือนละ 29 บอร์ด ครึ่งไตรมาสที่ 3 พบโฟมนิ่ม 10 บอร์ด เดือนกรกฎาคมพบ 8 บอร์ด และครึ่งเดือนสิงหาคมพบจำนวน 2 บอร์ด ดังแสดงในรูปที่ 7 หรือสามารถลดของเสียประเภทโฟมนิ่มได้ 88%



รูปที่ 7 กราฟแสดงจำนวนของเสียประเภทโฟมนิ่มหลังปรับปรุงกระบวนการ

อัตราการเกิดของเสียประเภทโฟมนิ่มลดลงอย่างมีนัยสำคัญแต่ประเภทของเสียชนิดอื่น ๆ ยังมีปริมาณที่สูงอยู่เช่น ปัญหาโฟมอีพีเอสน้ำหนักเบาซึ่งจะเป็นหัวข้อในการศึกษาต่อไปในอนาคตถึงสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ไขเพื่อให้ปริมาณของเสียโดยรวมลดลง และยกระดับความสามารถการควบคุมคุณภาพโฟมในสายการผลิตโฟมอีพีเอสได้อย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

[1] เกรียงไกร ศรีเลิศและ ณฐา คุปตัษเรียร (2558). **การลดความสูญเสียในกระบวนการชุบแข็งอินดักชั่นกรณีศึกษา: บริษัทตัวอย่าง**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2558.

[2] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ (2553). เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (QC 1 Tools), URL: piu.ftpi.or.th/productivity-tools/7-qc/, สืบค้นเมื่อ 2 /05/2566.

[3] จีรวัฒน์ ปล้องใหม่และศุภวัชร์ เมฆบูรณ์ (2559). **การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะ**, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต, 2559.

[4] ยุทธณรงค์ จงจันทร์ (2557). **การลดของเสียในกระบวนการนึ่งยางรถยนต์**, วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี, ปีที่ 8 ฉบับที่ 15 เดือน มกราคม - เมษายน 2557.

[5] ทะนงศักดิ์ พิทาคำ วีรญา กรทิพย์ ชานนท์ มูลวรรณ สหรัตน์ วงษ์ศรีษะและ อุกฤษณ์ ไชยคงทอง (2565). **การลดของเสียในกระบวนการเคลือบผิวคัตติ้งทูลล์ทังสเตนคาร์ไบด์**, การประชุมวิชาการและแสดงนิทรรศการระดับชาติ พัฒนาวิศวกรรมและนวัตกรรมเทคโนโลยีสู่การเป็นผู้นำพอเพียงเพื่อความยั่งยืนตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ครั้งที่ 4, 5-6 พฤศจิกายน 2565 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต.

[6] พิพัฒพงศ์ ศรีชนะ และ พรประเสริฐ ขวาลำธาร (2555). **การลดของเสียในกระบวนการผลิตอิฐบล็อก**, วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี 2555.

[7] นิพนธ์ มณีโชติ และ ผจงจิต พิจิตบรรจง (2562). **การลดของเสียในกระบวนการผลิตยางแท่ง**, วารสารข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย, ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม - มิถุนายน 2562.

[8] ศิรประภา มโนมัธย์ ธรินี มณีศรีและธวนิช ทองงาม (2555). **การลดของเสียในกระบวนการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป**, การประชุมวิชาการเครือข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม เพชรบุรี 2555.

A connection between hybrid one-sided hyperideals and hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups

Jirapong Mekwian and Nareupanat Lekkoksung*

Division of Mathematics, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Khon Kaen, 40000 Thailand

*Corresponding Author: nareupanat.le@rmuti.ac.th

Abstract

The concept of hybrid structures, which combine soft and fuzzy sets, offers a powerful mathematical framework. In this study, we apply hybrid structures to explore the relationship of hybrid hyperideals in hypersemigroups, a hyperalgebraic structure. Specifically, we focus on understanding and establishing connections between hybrid left (right) hyperideals and hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups.

Keywords: hybrid structures; hypersemigroups; hybrid left (right) hyperideals; hybrid bi-hyperideals.

1. Introduction

In 1934, Marty [1] introduced the concept of hyperoperations, which extended the traditional notion of operations by defining the multiplication of two elements as a set rather than a single element. This groundbreaking introduction laid the foundation for developing hyperalgebras, as hyperoperations have extended diverse algebraic structures into hyperalgebras. Consequently, hyperalgebraic systems have found utility in studying various scientific disciplines, including biology, chemistry, and computer science [2-5].

Hypersemigroups, also known as semihypergroups or multisemigroups in certain literature, are a useful concept of hyperstructures [6-8]. They are a generalization of semigroups. Hypersemigroups extend semigroups' fundamental properties, providing a broader framework for mathematical analysis and applications. Hyperideals play a pivotal role in investigating hypersemigroups, particularly in the classification of hypersemigroups using linear inequalities. Hasankhani [9] extensively studied the fundamental properties of left and right hyperideals in hypersemigroups and explored Green's relations of hypersemigroups. These investigations highlight the significance of hyperideals in semihypergroups. In 2015, Changphas and Davvaz [10] introduced the

notion of bi-hyperideals in ordered hypersemigroups, which can be viewed as a generalization of hypersemigroups. However, it is worth noting that bi-hyperideals can be defined and studied naturally within the framework of hypersemigroups. Bi-hyperideals represent an extension of left and right hyperideals in hypersemigroups. While this study does not cover all the types of hyperideals, the readers can find more information on the subject in the references [11-14] regarding hyperideals in hypersemigroups.

Hybrid structures combine soft and fuzzy sets and serve as mappings that can effectively handle detailed information. Jun et al. [15] initially introduced the concept of hybrid structures in 2018 and applied them to the study of logical algebras such as BCK- and BCI-algebras. Subsequently, hybrid structures found applications in ordered semigroups [16]. In 2022, the concept of hybrid structures was extended to the study of hypersemigroups. Lekkoksung et al. [17] defined hybrid left (right) hyperideals in hypersemigroups and established some fundamental properties. Furthermore, Mekwian et al. [18] introduced hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups and explored their basic properties. The investigation of hybrid structures in ordered hypersemigroups was also started by Sanpan et al. [19] in 2023.

Previous studies have explored the concepts of hybrid left (right) hyperideals and hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups. However, no connection has been established between these hybrid hyperideals. Consequently, the primary objective of this article is to bridge this gap and provide a comprehensive understanding of the relationship between hybrid left (right) hyperideals and hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups.

2. Preliminaries

A *hyperoperation* $\circ$ on a nonempty set H is a mapping $\circ: H\times H\to \mathcal{P}^*(H)$, where $\mathcal{P}^*(H)$ is the set of all subsets of H without the empty set. A hyperoperation $\circ$ on H induces an operation $\hat{\circ}: \mathcal{P}(H)\times\mathcal{P}(H)\to\mathcal{P}(H)$ defined by

$$A\hat{\circ}B=\begin{cases}\bigcup\limits_{a\in A,b\in B}(a\circ b) & \text{if } A,B\neq\varnothing\\ \varnothing & \text{otherwise}\end{cases}$$

for all $A,B\subseteq H$.

A structure $\langle H;\circ\rangle$ comprising of a nonempty set H and a hyperoperation on H is called a *hypersemigroup* [7] if $A\hat{\circ}(B\hat{\circ}C)=(A\hat{\circ}B)\hat{\circ}C$ for all $A,B,C\subseteq H$.

The following observation is not difficult to verify.

Theorem 2.1 [18]. *If $\langle H;\circ\rangle$ is a hypersemigroup, then $\langle\mathcal{P}(H);\hat{\circ}\rangle$ is a semigroup.*

From now on, we denote a hypersemigroup $\langle H;\circ\rangle$ by its boldface letter $\mathbf{H}$ of the underlying set, and write the product $A\hat{\circ}B$ by AB for all $A,B\subseteq H$. In particular, if $A=\{a\}$, then we denote AB by aB Similarly, if $B=\{b\}$, then we denote AB by Ab. Moreover, we denote the n-product $A\hat{\circ}\cdots\hat{\circ}A$ of A by A^n.

Example 2.2 [20]. *Let* $H=\{a,b,c,d,e\}$. *Define a hyperoperation* $\circ$ *on* H *as follows.*

$\circ$	a	b	c	d	e
a	a	a	$\{a,b,c\}$	a	$\{a,b,c\}$
b	a	a	$\{a,b,c\}$	a	$\{a,b,c\}$
c	a	a	$\{a,b,c\}$	a	$\{a,b,c\}$
d	$\{a,b,d\}$	$\{a,b,d\}$	H	$\{a,b,d\}$	H
e	$\{a,b,d\}$	$\{a,b,d\}$	H	$\{a,b,d\}$	H

By careful calculation, we obtain that $\mathbf{H}:=\langle H;\circ\rangle$ *is a hypersemigroup.*

Now, we recall the concept of hybrid structures. In what follows, let I be the closed unit interval and E be a set of parameters.

Let U be a nonempty set. A mapping $f:E\to \mathcal{P}(U)\times I$ is said to be a *hybrid structure* in E over U (see [9]). We observe that a hybrid structure f can be determined by two mappings: $f_1:E\to \mathcal{P}(U)$ and $f_2:E\to I$. That is, f can be considered as a combination of soft set f_1 in E over U and a fuzzy set f_2 in E. Therefore, any hybrid structure f in E over U can be written as $f=(f_1,f_2)$.

We reintroduce the notions of hybrid left (right) hyperideals and hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups as follows. Let $\mathbf{H}$ be a hypersemigroup and f a hybrid structure in H over U. Then, f is said to be:

(1) a *hybrid subhypersemigroup* in $\mathbf{H}$ over U if

$f_1(x)\cap f_1(y)\subseteq\bigcap_{u\in xy}\{f_1(u)\}$ and $f_2(x)\vee f_2(y)\geq\bigvee_{u\in xy}\{f_2(u)\}$ for all $x,y\in H$;

(2) a *hybrid left hyperideal* in $\mathbf{H}$ over U if $f_1(y)\subseteq\bigcap_{u\in xy}\{f_1(u)\}$ and $f_2(y)\geq\bigvee_{u\in xy}\{f_2(u)\}$ for all $x,y\in H$;

(3) a *hybrid right hyperideal* in $\mathbf{H}$ over U if $f_1(x)\subseteq\bigcap_{u\in xy}\{f_1(u)\}$ and $f_2(x)\geq\bigvee_{u\in xy}\{f_2(u)\}$ for all $x,y\in H$;

(4) a *hybrid bi-hyperideal* in $\mathbf{H}$ over U if f is a hybrid subhypersemigroup such that $f_1(x)\cap f_1(z)\subseteq\bigcap_{u\in xyz}\{f_1(u)\}$ and $f_2(x)\vee f_2(z)\geq\bigvee_{u\in xyz}\{f_2(u)\}$ for all $x,y,z\in H$.

Example 2.3 *Using the multiplication table in Example 2.2, we define a hybrid structure* f *in* H *over* $\mathbb{N}$ *by*

x	$f_1(x)$	$f_2(x)$
a,b,d	$2\mathbb{N}$	0.5
c,e	$4\mathbb{N}$	0.9

for all $x\in H$. *By careful calculation, we obtain that* f *is a hybrid left hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* $\mathbb{N}$. *However,* f *is not a hybrid right hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* $\mathbb{N}$ *since*

$$f_1(a)\not\supseteq\bigcap_{u\in ac}\{f_1(u)\}=f_1(a)\cap f_1(b)\cap f_1(c)$$

and $f_2(a)\not\geq f_2(a)\cap f_2(b)\cap f_2(c)$. *Define a hybrid structure* g *in* H *over* $\mathbb{N}$ *by*

x	$g_1(x)$	$g_2(x)$
a,b,c	$2\mathbb{N}$	0.5
d,e	$4\mathbb{N}$	0.9

for all $x\in H$. *By careful calculation, we obtain that* g *is a hybrid right hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* $\mathbb{N}$. *Define a hybrid structure* h *in* H *over* $\mathbb{N}$ *by*

x	$h_1(x)$	$h_2(x)$
a	N	0.1
b,c	3N	0.4
d,e	12N	0.4

for all $x \in H$. *By careful calculation, we obtain that* h *is a hybrid bi-hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* N. *However,* h *is not a hybrid left hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* N *since*

$$h_1(c) \not\geq \bigcap_{u \in dc} \{h_1(u)\} = \bigcap_{x \in H} \{h_1(x)\}.$$

3. Result

Example 2.3 highlights an important observation: a hybrid left hyperideal and a hybrid right hyperideal do not necessarily have any relationship. Additionally, a hybrid bi-hyperideal may not be either a hybrid left hyperideal or a hybrid right hyperideal. These distinctions emphasize the distinct nature and independence of these hybrid hyperideals within the context of hypersemigroups. A question arises: Is a hybrid left (right) hyperideal a hybrid bi-hyperideal in hypersemigroups? The following theorem can be addressed in this inquiry.

Theorem 3.1 *Let* $\mathbf{H}$ *be a hypersemigroup, and* f *a hybrid structure in H over* U. *Then, if* f *is a hybrid left (right) hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* U, *then* f *is a hybrid bi-hyperideal in* $\mathbf{H}$ *over* U.

Proof. Assume that f is a hybrid left hyperideal in $\mathbf{H}$ over U. Firstly, we show that f is a hybrid subhypersemigroup in $\mathbf{H}$ over U. Let $x, y \in H$. Since f is a hybrid left hyperideal in $\mathbf{H}$ over U,

$$\bigcap_{u \in xy} \{f_1(u)\} \supseteq f_1(y) \supseteq f_1(x) \cap f_1(y) \quad \text{and}$$

$$\bigvee_{u \in xy} \{f_2(u)\} \leq f_2(y) \leq f_2(x) \vee f_2(y).$$

This means that f is a hybrid subhypersemigroup in $\mathbf{H}$ over U. Next, we let $x, y, x \in H$. Consider

$$\bigcap_{u \in xyz} \{f_1(u)\} = \bigcap_{u \in (xy)z} \{f_1(u)\} \supseteq f_1(z) \supseteq f_1(x) \cap f_1(z)$$

and

$$\bigvee_{u \in xyz} \{f_2(u)\} = \bigvee_{u \in (xy)z} \{f_2(u)\} \leq f_2(z) \leq f_2(x) \vee f_2(y).$$

Therefore, f is a hybrid bi-hyperideal in $\mathbf{H}$ over U. We can illustrate similarly for the case that f is a hybrid right hyperideal in $\mathbf{H}$ over U.

Let $\mathrm{HL}(\mathbf{H}), \mathrm{HR}(\mathbf{H})$ and $\mathrm{HB}(\mathbf{H})$ be the set of all hybrid left hyperideals, hybrid right hyperideals, and hybrid bi-hyperideals in $\mathbf{H}$ over U, respectively. From the analysis presented in Example 2.3 and Theorem 3.1, we can summarize the following key observations:

Corollary 3.2 *Let* $\mathbf{H}$ *be a hypersemigroup. Then,*

$$\mathrm{HL}(\mathbf{H}) \subseteq \mathrm{HB}(\mathbf{H}) \text{ and } \mathrm{HR}(\mathbf{H}) \subseteq \mathrm{HB}(\mathbf{H}).$$

4. Conclusion

This research focuses on exploring the interrelationships among hybrid hyperideals in hypersemigroups. Our result indicates that every hybrid left (right) hyperideal is a hybrid bi-hyperideal. However, it is important to note that the converse may not always hold. Building upon these results, future investigations will employ these hybrid hyperideals to facilitate the classification of hypersemigroups.

5. Acknowledgements

This study was supported by Rajamangala University of Technology Isan.

6. References

[1] Marty, F. (1934). Sur une généralisation de la notion de groupe, paper presented in the 8th Congress Math. Scandinaves, Stockholm, Sweden, pp. 45–49.

[2] Al-Tahan, M. and Davvaz, B., (2022). Chemical hyperstructures for elements with four oxidation states, *Iranian Journal of Mathematical Chemistry*, vol.13(2), June 2022, pp. 85–97.

[3] Ameri, R. and Zahedi, M.M. (1999). Hyperalgebraic systems, *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol.6, pp. 21–23.

[4] Corsini, P. and Leoreanu, V. (2003). Applications of Hyperstructure Theory, Springer, Boston.

[5] Preethi, D., Vimala, J., Davvaz, B. and Rajareega, S. (2020). Biological inheritance on fuzzy hyperlattice ordered group, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol.38(5), January 2020, pp. 6457–6464.

[6] Davvaz, B. (2016). Semihypergroup Theory, Academic Press.

[7] Kehayopulu, N. (2015). On hypersemigroups, *Pure Mathematics and Applications*, vol. 25(2), January 2015. pp. 151–156.

[8] Kudryavtseva, G. and Mazorchuk, V. (2015). On multisemigroups, *Portugaliae Mathematica*, vol.72(1), pp. 47–80.

[9] Hasankhani, A. (1999). Ideals in a semihypergroup and Green's relations, *Ratio Mathematica*, vol. 13(1), pp. 29–36.

[10] Changphas, T. and Davvaz, B. (2015). Bi-hyper-ideals and quasi-hyperideals in ordered semihypergroups, *Italian Journal of Pure and Applied Mathematics*, vol.35, pp. 493–508.

[11] Corsini, P., Shabir, M. and Mahmood, T. (2011). Semisimple semihypergroups in terms of hyperideals and fuzzy hyperideals, *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, vol.8(1), April 2010, pp. 95–111.

[12] Hila, K., Davvaz, B. and Naka, K. (2011). On quasi-hyperideals in semihypergroups, *Communications in Algebra* vol.39 (11), October 2012, pp. 4183–4194.

[13] Lekkoksung, S. (2012). On weakly semiprime hyperideals in semihypergroups, *International Journal of Algebra*, vol.6(13-16), January 2012, pp. 613–616.

[14] Lekkoksung, S. (2012). On left, right weakly prime hyperideals on semihypergroups, *International Journal of Contemporary Mathematical Sciences*, vol.7 (21-24), January 2012, pp. 1193–1197.

[15] Jun, Y.B., Song, S.Z. and Muhiuddin, G. (2018). Hybrid structures and applications, *Annals of Communications in Mathematics*, vol.1(1), pp. 11–25.

[16] Mekwian, J. and Lekkoksung, N. (2021). Hybrid ideals in ordered semigroups and some characterizations of their regularities, *Journal of Mathematical and*

Computational Science, vol.11(6), October 2021, pp. 8075–8094.

[17] Lekkoksung, S., Samormob, W. and Linesawat, K. (2022). On hybrid hyperideals in hypersemigroups, The 14th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB2022), Pakxe, Lao P.D.R.

[18] Mekwian, J., Lekkoksung, N. and Sanpan, H. (2022). A connection between bi-hyperideals and hybrid bi-hyperideals in hypersemigroups, The 14th International Conference on Science, Technology and Innovation for Sustainable Well-Being (STISWB 2022), Pakxe, Lao P.D.R.

[19] Sanpan, H., Kitpratyakul, P. and Lekkoksung, S. (2023), On hybrid quasipure hyperideals in ordered hypersemigroups, *Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics*, vol.25(2), March 2023, pp. 161–173.

[20] Pibaljommee, B. and Davvaz, B. (2015). Characterizations of (fuzzy) bi-hyperideals in ordered semihypergroups, *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, vol.28(5), January 2015, pp. 2141–2148.

การสร้างแบบจำลองสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟแบบแขนเดียวในระบบส่งกำลังไฟฟ้าเหนือศีรษะ 25 kV สำหรับรถไฟฟ้าโดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ

Magnetic Field Modeling of a Single-Arm Pantograph a 25 kV Overhead Power Transmission System for Electric Railway Using a 3D Finite Element Method

อารักษ์ บุญมาตย์* และ พงษ์พิสิฐ สายคำ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

*Corresponding Author: arak.bu@rmuti.ac.th, 080-1647600

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟแบบแขนด้านบนแขนเดียวในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเหนือศีรษะ 25 กิโลโวลต์ สำหรับรถไฟ ซึ่งแสดงในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ประยุกต์ใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ผลลัพธ์กราฟิกวิเคราะห์การแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กบริเวณโดยรอบของแหนบรับไฟที่อยู่ในสถานะ Steady State ดังนั้นงานวิจัยได้จำลองการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กในโครงสร้างแหนบรับไฟแบบแขนด้านบนแขนเดียวได้วิเคราะห์การกระจายตัวของสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟที่มีหน้าสัมผัสเป็นวัสดุแกรไฟต์ และหน้าสัมผัสเป็นวัสดุทองเหลือง ซึ่งค่าสนามแม่เหล็กที่กระจายตัวภายใต้สายส่งตัวนำบริเวณกึ่งกลางของสายจะส่งผลกระทบต่อแหนบรับไฟมากที่สุด คือ 5.9840 ไมโครเทสลา, 5.7515 ไมโครเทสลา ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยทั้งแหนบรับไฟอยู่ที่ 0.0559 ไมโครเทสลา, 0.0501 ไมโครเทสลา ตามลำดับ สังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กของหน้าสัมผัสที่ทำมาจากวัสดุแกรไฟต์มีการกระจายตัวเฉลี่ยสูงกว่าหน้าสัมผัสที่ทำมาจากวัสดุทองเหลืองแต่ยังมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวัสดุแกรไฟต์และทองเหลืองมีคุณสมบัติที่สามารถนำมาทดแทนในการทำหน้าสัมผัสของแหนบรับไฟได้

คำสำคัญ: ไฟไนท์อิลิเมนท์, แหนบรับไฟ, สนามแม่เหล็ก

Abstract

The research presents a mathematical model of the magnetic field generated by a single upper-arm pantograph in a 25 kV overhead power transmission system for railways, expressed through second-order partial differential equations. Computer simulation results were obtained using the 3D finite element method implemented in the MATLAB program, providing graphical analyses of the magnetic field distribution around the pantograph in a steady state. The study simulated the magnetic field distribution in a single-arm upper pantograph structure and analyzed the magnetic field distribution of a pantograph with a graphite contact strip and brass as the contact strip material. The magnetic field values under the transmission line, particularly at the center, have the most significant impact on the pantograph, measuring 5.9840 μT and 5.7515 μT, respectively. The overall pantograph averages 0.0559 μT and 0.0501 μT,

respectively. It is observed that the average and maximum values of the magnetic field for graphite contact strips have a higher average distribution than brass contact strips but remain similar. Therefore, graphite and brass materials exhibit properties suitable for substituting pantograph contact strips.

Keywords: finite element method, pantograph, magnetic field

บทนำ

ในอดีตที่ผ่านมาการพัฒนาระบบขนส่งทางรางของประเทศ ได้ใช้วิธีการซื้อเทคโนโลยีและจ้างผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศเกือบทั้งหมด โดยขาดกระบวนการถ่ายทอดเทคโนโลยีจากต่างประเทศสู่ผู้เกี่ยวข้องในประเทศอย่างเพียงพอ จึงส่งผลให้ประเทศไทยต้องพึ่งพาเทคโนโลยีและบุคลากรผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศอย่างต่อเนื่อง [1] ตั้งแต่กระบวนการคิดวางแผน การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมตลอดจนการออกแบบ การก่อสร้าง การบริหาร และการบำรุงรักษาระบบการเดินรถ เนื่องจากขาดแคลนบุคลากรที่มีพื้นฐานความรู้และทักษะในด้านระบบขนส่งทางรางเพียงพอที่จะดูดซับเทคโนโลยีจากบริษัทต่างประเทศ และบ่มเพาะความรู้เทคโนโลยีเหล่านั้นได้อีกทั้งการพัฒนาโครงข่ายด้านระบบขนส่งทางรางที่จะเกิดขึ้นในอนาคตยังไม่มีแผนงานเพื่อเตรียมการสร้างกำลังคนด้านปฏิบัติการมารองรับ

ในปัจจุบันระบบการส่งจ่ายแบบเหนือศีรษะ (overhead catenary) เป็นระบบการจ่ายไฟฟ้าที่มีแหนบรับไฟ (pantograph) ทำหน้าที่เป็นตัวส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าจากสายตัวนำสัมผัสผ่านตัวสัมผัสเคลื่อนที่ (sliding contact) ที่ทำจากแกรไฟต์ (graphite) จากนั้นไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่ขบวนรถไฟฟ้าและจะไหลครบวงจรผ่านรางวิ่ง [2] โดยแหนบรับไฟถือได้ว่าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการรับพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ขบวนรถไฟฟ้าเป็นอย่างมากเพราะเป็นจุดที่รถไฟฟ้ากับระบบจ่ายไฟมาสัมผัสกัน [3] จากที่กล่าวไปข้างต้นว่าแหนบรับไฟมีความสำคัญต่อระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแบบเหนือศีรษะเป็นอย่างมาก แต่บริเวณหน้าแถบสัมผัสเกิดความสึกกร่อนจากการเสียดทาน [4] เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ได้มีจำลองผลการกระจายตัวสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟแขนเดียวของรถไฟที่หน้าแถบสัมผัสเป็นวัสดุทองเหลืองในรูปแบบ 3 มิติ [5-6] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์ผลการจำลองสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณแหนบรับไฟแขนเดียวของรถไฟ รวมถึงวิเคราะห์สนามแม่เหล็กบริเวณหน้าแถบสัมผัสที่ทำมาจากวัสดุทองเหลืองเปรียบเทียบกับหน้าแถบสัมผัสที่ใช้ในปัจจุบันจากวัสดุแกรไฟต์ โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ ซึ่งแสดงในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยอันดับสอง การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ได้ประยุกต์ใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ผลลัพธ์กราฟิกวิเคราะห์การแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กบริเวณโดยรอบของแหนบรับไฟที่อยู่ในสถานะ steady state มาใช้ในการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟสำหรับรถไฟ

วิธีดำเนินงาน

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแหนบรับไฟ

สำหรับปัญหาค่าสนามแม่เหล็กใน 3 มิติในระบบพิกัดฉาก ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์นิยมจัดรูปสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหาต่าง ๆ แบบจำลองของสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟในรูปแบบ 3 มิติ [7] สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (1)

$$\left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2}\right)+\left(\frac{\partial^2 A}{\partial y^2}\right)+\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)-\mu\varepsilon\left(\frac{\partial^2 A}{\partial t^2}\right)-\mu\sigma\left(\frac{\partial A}{\partial t}\right)+J_0=0 \quad (1)$$

โดยที่ A แทน ศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก, t แทน เวลา (time), μ แทน สภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็ก (permeability), ε แทน สภาพะยอมทางไฟฟ้า (permittivity), σ แทน สภาพนำทางไฟฟ้า (conductivity) ω แทน ความถี่เชิงมุม (angular frequency) และ J_0 แทน ความหนาแน่นของกระแสภายนอก จากคุณสมบัติของระบบที่เป็น Time-Harmonic อย่างเช่นในระบบสายส่งไฟฟ้า [7-8] จะได้

$$\frac{\partial A}{\partial t} \approx j\omega A \qquad (2)$$

$$\frac{\partial^2 A}{\partial^2 t} \approx -\omega^2 A \qquad (3)$$

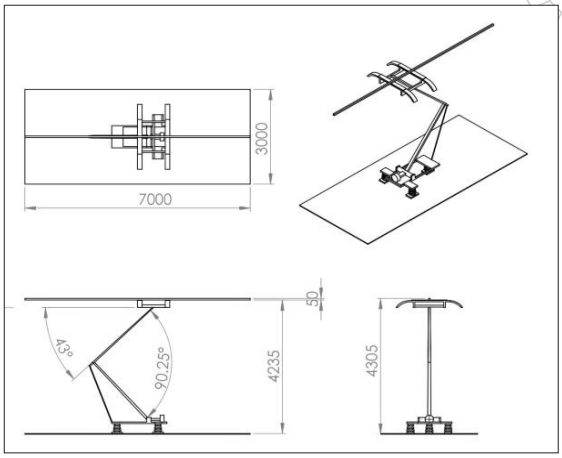
ดังนั้น จากสมการที่ (4) เมื่อพิจารณาปัญหาเป็นแบบ 3 มิติจึงได้

$$\left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2}\right)+\left(\frac{\partial^2 A}{\partial y^2}\right)+\left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right)-\left(j\mu\sigma\omega-\mu\varepsilon\omega^2\right)A+J_0=0 \qquad (4)$$

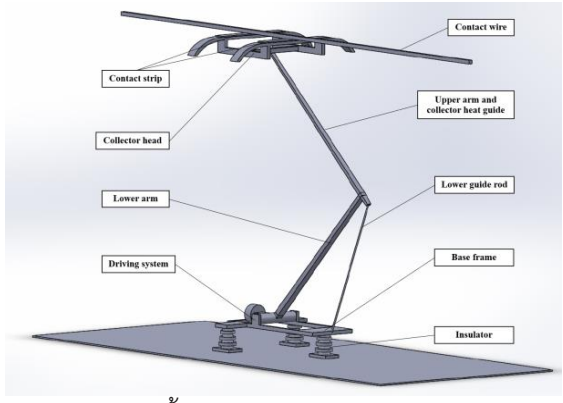
2. การสร้างสมการไฟไนท์อิลิเมนท์สำหรับปัญหาใน 3 มิติ

2.1 การแบ่งพื้นที่ศึกษาของแหนบรับไฟ

การแบ่งพื้นที่ย่อยของปัญหาออกเป็นลิเมนท์ ซึ่งในที่นี้จะใช้อิลิเมนท์รูปทรงสี่หน้า (tetrahedral) เนื่องจากเป็นรูปทรงที่มีจำนวนโนดหรือจุดเชื่อมต่อน้อยที่สุด โดยสมมติลักษณะการกระจายของผลลัพธ์โดยประมาณ ณ ตำแหน่งใดๆบนอิลิเมนท์เป็นแบบเชิงเส้น [8-9] ซึ่งงานวิจัยนี้จะดำเนินการแบ่งพื้นที่ย่อย โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูป SOLIDWORKS ซึ่งประกอบด้วย 266,164 อิลิเมนท์ 45,693 จุดต่อ สำหรับแหนบรับไฟ ได้ผลลัพธ์ออกมาดังรูปที่ 1(ค)



ก) ขนาดของโครงสร้างของแหนบรับไฟ



ข) ชิ้นส่วนภายในแหนบรับไฟ

ค) การแบ่งอิลิเมนท์รูปทรงสี่หน้าและการเชื่อมต่อระหว่างอิลิเมนท์ภายในโครงสร้างแหนบรับไฟ

รูปที่ 1 การออกแบบและการแบ่งอิลิเมนท์กับจุดต่อของแหนบรับไฟแบบ 3 มิติของโปรแกรม SOLIDWORKS

2.2 การสร้างสมการไฟไนท์อิลิเมนท์

รูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในอิลิเมนท์ (element interpolation function) โดยเมื่อสมมติลักษณะการกระจายของผลเฉลยบนอิลิเมนท์เป็นแบบเชิงเส้น [10-11] จึงได้ดังสมการที่ (5)

$$A(x,y,z) = A_1N_1 + A_2N_2 + A_3N_3 + A_4N_4 \quad (5)$$

โดยที่ $N_i, i = 1,2,3,4$ คือฟังก์ชันการประมาณภายในอิลิเมนท์ และ $A_i, i = 1,2,3,4$ คือผลลัพธ์ของศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กในแต่ละจุดต่อ (1,2,3,4) ของอิลิเมนท์ [10,11] แสดงดังสมการที่ (6)

$$N_i = \frac{1}{6V}(a_i + b_ix + c_iy + d_iz) \quad (6)$$

การประยุกต์ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์เพื่อหาระบบสมการเชิงเส้น โดยอาศัยการประยุกต์วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างของกาเลอร์คิน (galerkin) โดยมีหลักการดังนี้คือการแทนค่าผลเฉลยโดยประมาณลงในสมการที่ (4) จะไม่ก่อให้เกิดค่าเท่ากับศูนย์ [12-13] หากแต่จะมีค่าเท่ากับ R แทนดังแสดงด้วยสมการที่ (7)

$$\left(\frac{\partial^2 A}{\partial x^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 A}{\partial y^2}\right) + \left(\frac{\partial^2 A}{\partial z^2}\right) - \left(j\mu\sigma\omega - \mu\varepsilon\omega^2\right)A + J_0 = R \quad (7)$$

ซึ่ง R เรียกว่า เศษตกค้าง (Residual) เป็นค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้ผลเฉลยโดยประมาณซึ่งไม่ใช่ผลเฉลยแม่นตรงของปัญหา เศษตกค้าง R ที่เกิดขึ้นควรมีค่าต่ำที่สุด เพื่อผลเฉลยโดยประมาณที่เกิดขึ้นจะมีค่าเที่ยงตรงมากที่สุดและในงานวิจัยนี้วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างได้ใช้วิธีของกา-เลอร์คิน [12-13] ซึ่งวิธีนี้สามารถกระทำได้โดยการคูณเศษตกค้าง R ด้วยฟังก์ชันน้ำหนัก (weighting function : W) แล้วอินทิเกรทตลอดทั้งโดเมนของอิลิเมนท์ (V) และกำหนดผลที่ได้ให้เท่ากับศูนย์ [14] ดังสมการ (8)

$$\int_V N_n\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial A}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial A}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial A}{\partial z}\right)\right)dV - \int_V N_n\left(\left(j\mu\omega\sigma - \mu\varepsilon\omega^2\right)A + J_0\right)dV = 0 \quad (8)$$

พิจารณาพจน์แรกทางด้านซ้ายมือของสมการที่ 8 ซึ่งเป็นพจน์ที่เกี่ยวข้องกับขอบเขตของอิลิเมนท์ โดยประยุกต์เงื่อนไขแบบนอยมันน์ (Neumann condition) [14-15] เมื่อกำหนดให้ $\frac{\partial A}{\partial n} = 0$ ดังนั้นจึงได้สมการไฟไนท์อิลิเมนท์แสดงดังสมการที่ (9)

$$\int_V \left(\left[\frac{\partial N_n}{\partial x}\right]_{4\times1}\left[\frac{\partial N_n}{\partial x}\right]_{1\times4} + \left[\frac{\partial N_n}{\partial y}\right]_{4\times1}\left[\frac{\partial N_n}{\partial y}\right]_{1\times4} + \left[\frac{\partial N_n}{\partial z}\right]_{4\times1}\left[\frac{\partial N_n}{\partial z}\right]_{1\times4}\right)dV[A]_{4\times1} + \int_V [N_n]_{4\times1}\left(j\mu\omega\sigma - \mu\varepsilon\omega^2\right)[N_n]_{1\times4}\,dV[A]_{4\times1} = \int_V [N_n]_{4\times1}\,j_0\,dV \quad (9)$$

หรือเขียนสมการไฟไนท์อิลิเมนท์สำหรับแต่ละอิลิเมนท์ที่ประกอบด้วย 3 สมการ [16-17] ดังสมการที่ (10)

$$[M]_{4\times4}\{A\}_{4\times1} + [K]_{4\times4}\{A\}_{4\times1} = \{F\}_{4\times1} \quad (10)$$

โดยที่

$$[M]_{4\times4} = \frac{\left(j\mu\omega\sigma - \mu\varepsilon\omega^2\right)V}{20}\begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{4\times4} = \frac{1}{36V}\begin{bmatrix} b_1b_1 + c_1c_1 + d_1d_1 & b_1b_2 + c_1c_2 + d_1d_2 & b_1b_3 + c_1c_3 + d_1d_3 & b_1b_4 + c_1c_4 + d_1d_4 \\ & b_2b_2 + c_2c_2 + d_2d_2 & b_2b_3 + c_2c_3 + d_2d_3 & b_2b_4 + c_2c_4 + d_2d_4 \\ & & b_3b_3 + c_3c_3 + d_3d_3 & b_3b_4 + c_3c_4 + d_3d_4 \\ & sym & & b_4b_4 + c_4c_4 + d_4d_4 \end{bmatrix}$$

$$\{F\}_{4\times1} = \frac{(J_0)V}{4}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

นำสมการของแต่ละอิลิเมนท์ที่ได้มาประกอบกันเป็นสมการรวมของระบบ หากเราแบ่งลักษณะรูปร่างของปัญหาออกเป็นอิลิเมนท์ย่อยซึ่งประกอบด้วย n จุดต่อจึงก่อให้เกิดระบบสมการรวม ซึ่งประกอบด้วยสมการย่อยจำนวนทั้งสิ้น n สมการ [16-17] ดังนั้นจึงได้สมการรวมสำหรับการจำลองผลค่าปริมาณเวกเตอร์ในแม่เหล็กของงานวิจัยนี้ในรูปสมการเชิงเส้นดังสมการที่ (11)

$$[K]_{n\times n}\{A\}_{n\times1} = \{F\}_{n\times1} \quad (11)$$

เมื่อได้ค่าศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็กดำเนินการคำนวณค่าสนามแม่เหล็กจากสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ (12)

$$B = \nabla \times A \qquad (12)$$

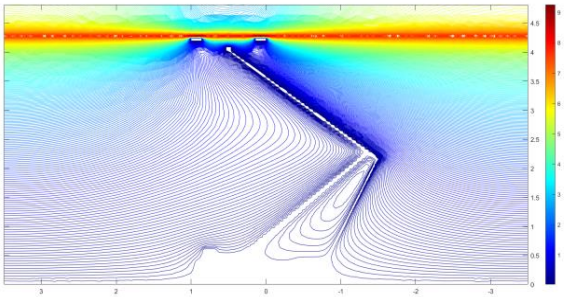
ผลการจำลองและการอภิปรายผล

ประยุกต์เงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต (initial and boundary condition) ที่สอดคล้องกับปัญหาลงในสมการรวมของระบบ (constraints) ซึ่งงานวิจัยนี้มีค่าเงื่อนไขเริ่มต้นที่พิจารณาที่แรงดันไฟฟ้า 25 kV, ความถี่ 50 Hz และจำลองผลของสนามแม่เหล็กบริเวณแหนบรับไฟแขนด้านบนแขนเดียวในสถานะ steady state โดยวัสดุหน้าแถบสัมผัสที่นำมาใช้ในการจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับแกรไฟต์ซึ่งเป็นวัสดุที่พบหาได้ง่ายในประเทศ คือ ทองเหลือง (brass) ซึ่งพารามิเตอร์ของแต่ละวัสดุแสดงดังตารางที่ 1 [18-20] โดยวัสดุขององค์ประกอบแต่ละส่วนของแหนบรับไฟจะเป็นวัสดุเดิมทั้งหมดและได้เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของวัสดุเฉพาะบริเวณหน้าแถบสัมผัสของแหนบรับไฟเท่านั้น

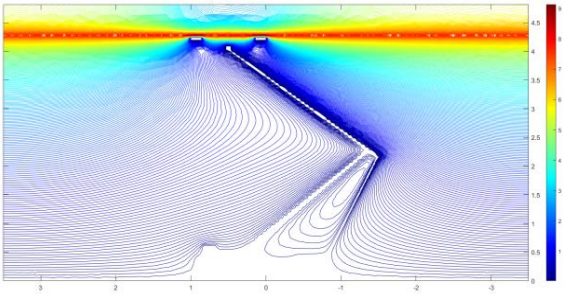
จากผลการจำลองเชิงกราฟิกดังแสดงด้วยรูปที่ 2 (ก)-(ค) และรูปที่ 3(ก)-(ค) ค่าสนามแม่เหล็กจะมีปริมาณสูงที่ตำแหน่งสายคอนแทควายสัมผัสกับหน้าสัมผัสของแหนบรับไฟจะเกิดการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมากและส่วนบริเวณรอบนอกถัดจากจุดที่สัมผัสกันนั้นก็จะมีการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก พบว่ายิ่งมีระยะห่างออกจากบริเวณหน้าสัมผัสยิ่งทำให้บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กน้อยลง โดยจะมีค่าน้อยที่สุดที่ตำแหน่งใกล้กับหลังคาของรถไฟ และเมื่อพิจารณาภาพตัดขวางที่ช่วงความลึกใด ๆ ค่าสนามแม่เหล็กจะกระจายตัวในลักษณะคล้ายคลึงกันในทั้งสองวัสดุ เพราะลักษณะของปัญหามีรูปแบบของวัสดุที่แตกต่างกัน และจากผลการจำลองผลทางกราฟิกข้างต้นสามารถสรุปเป็นตารางเพื่อให้เห็นความแตกต่างในเชิงตัวเลขอย่างชัดเจนของการกระจายตัวสนามแม่เหล็กดังแสดงด้วยตารางที่ 2 โดยจากข้อมูลในตารางสามารถเสนออยู่ในรูปแบบทางกราฟิกเพื่อแสดงให้เห็นถึงค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กให้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังแสดงด้วยรูปที่ 4 และ 5 ตามลำดับ และได้เปรียบเทียบค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กในทั้งสองวัสดุออกมาเป็นกราฟดังแสดงรูปที่ 6

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ในการจำลอง

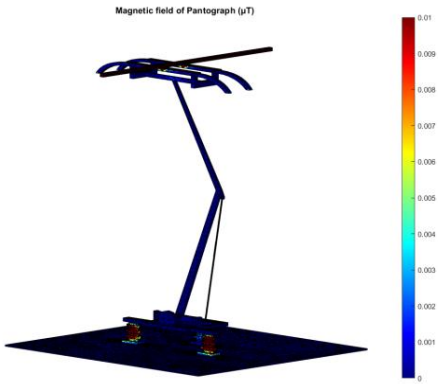
Description	Electrical Conductivity ($\sigma, \frac{S}{m}$)	Relative Permeability (μ_r)	Relative Permittivity (ε_r)
เฟรม และฐานเฟรม (steel)	0.8×10^{7}	3.5	300
ลูกถ้วยฉนวน (silicone)	1×10^{-13}	1	3.1
สายส่ง (copper)	5.8×10^{7}	0.999991	3.5
หน้าแถบสัมผัส (graphite) (brass)	 1×10^{3} 1.59×10^{7}	 0.999999 1.060	 15 1
อากาศ	0	1.00000036	1.0005



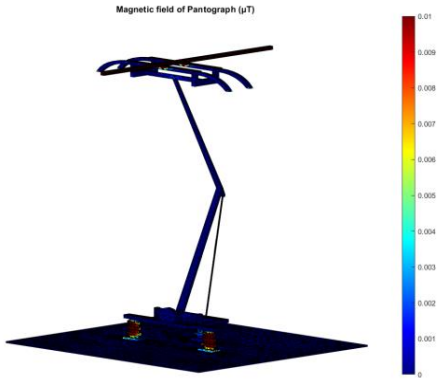
(ก) ภาพตัดขวางการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก (μT) ที่ระยะความลึกด้านข้างกึ่งกลางของแหนบรับไฟ



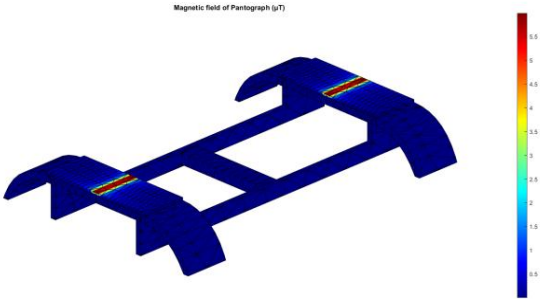
(ก) ภาพตัดขวางการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก (μT) ที่ระยะความลึกด้านข้างกึ่งกลางของแหนบรับไฟ



(ข) การกระจายตัวสนามแม่เหล็ก (μT) ของโครงสร้างแหนบรับไฟ

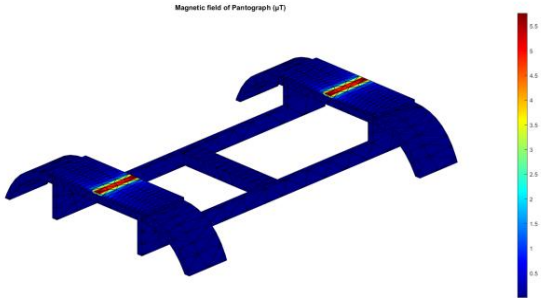


(ข) การกระจายตัวสนามแม่เหล็ก (μT) ของโครงสร้างแหนบรับไฟ



(ค) การกระจายตัวสนามแม่เหล็ก (μT) ของแถบสัมผัสแหนบรับไฟ

รูปที่ 2 การกระจายตัวสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟ โดยมีวัสดุของแถบหน้าสัมผัสเป็นแกรไฟต์

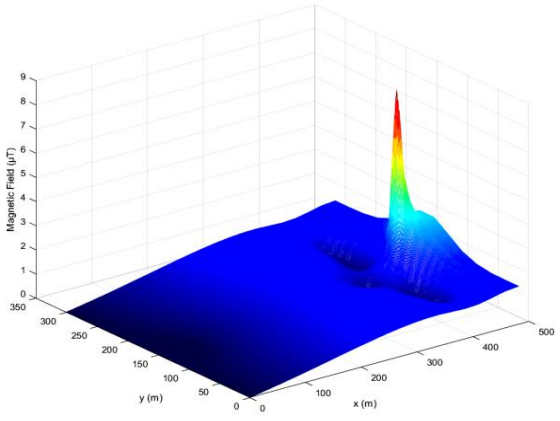


(ค) การกระจายตัวสนามแม่เหล็ก (μT) ของแถบสัมผัสแหนบรับไฟ

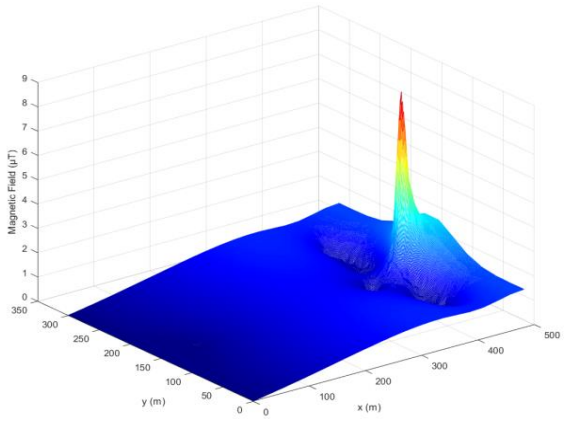
รูปที่ 3 การกระจายตัวสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟ โดยมีวัสดุของแถบหน้าสัมผัสเป็นทองเหลือง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลเฉลยค่าการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก (μT) ของวัสดุ 2 ชนิด

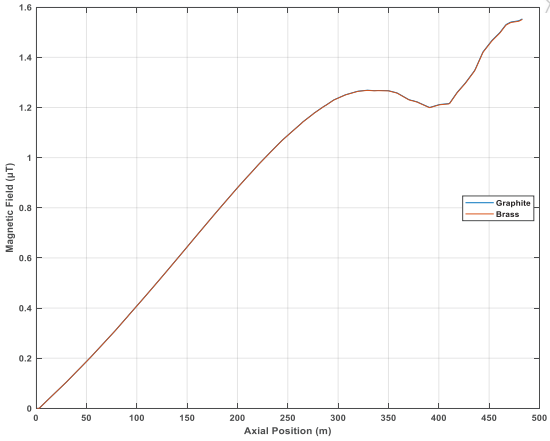
วัสดุของหน้าแถบสัมผัส	สนามแม่เหล็กสูงสุด (μT)		สนามแม่เหล็กเฉลี่ย (μT)	
	แหนบรับไฟ	หน้าแถบสัมผัส	แหนบรับไฟ	หน้าแถบสัมผัส
แกรไฟต์	5.9840	5.9840	0.0559	0.4558
ทองเหลือง	5.7515	5.7515	0.0501	0.4062



รูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กเพื่อให้เห็นถึงบริเวณที่เกิดค่าต่ำสุดและสูงสุด โดยมีวัสดุของหน้าแถบสัมผัสเป็นแกรไฟต์



รูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กเพื่อให้เห็นถึงบริเวณที่เกิดค่าต่ำสุดและสูงสุด โดยมีวัสดุของหน้าแถบสัมผัสเป็นทองเหลือง



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบผลเฉลยค่าสนามแม่เหล็ก (μT) ของวัสดุ 2 ชนิด

จากตารางที่ 2 ประกอบกับรูปที่ 4 และ 5 จะสังเกตเห็นว่าค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของค่าสนามแม่เหล็กจะมีค่ามากที่สุดที่ช่วงตำแหน่งของสายส่งตัวนำที่สัมผัสกับแถบหน้าสัมผัสแหนบรับไฟ และค่าจะลดน้อยลงไปเมื่อห่างสายส่งตัวนำมากขึ้น โดยจะมีค่าน้อยสุดที่ตำแหน่งหลังคารถไฟ โดยเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งของแถบหน้าสัมผัสแหนบรับไฟ ซึ่งทำจากแกรไฟต์ที่เป็นวัสดุวิศวกรรมที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูง จึงทำให้สนามแม่เหล็กกระจายตัวอยู่ภายในแหนบรับไฟ มากกว่าการกระจายตัวของหน้าสัมผัสที่เป็นวัสดุทองเหลือง ทำให้ภายในแหนบรับไฟมีค่าสนามแม่เหล็กเฉลี่ยและสูงสุดต่างกันเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 2 ที่ช่วงความลึกกึ่งกลางของแหนบรับไฟ จะเห็นว่า ค่าสนามแม่เหล็กมีค่าใกล้เคียงกันของทั้งสองวัสดุที่มาทำหน้าแถบสัมผัส โดยจะมีค่าสนามแม่เหล็กของแหนบรับไฟที่แถบหน้าสัมผัสทำมาจากแกรไฟต์และแถบหน้าสัมผัสทำมาจากทองเหลืองสูงสุดมีค่า 5.9840 μT , 5.7515 μT ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.0559 μT , 0.0501 μT ตามลำดับ จากรูปที่ 6 ได้แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กซึ่งผลการจำลองของวัสดุทั้ง 2 ชนิด จะสังเกตได้ว่าค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กของหน้าสัมผัสที่ทำมาจากวัสดุแกรไฟต์มีการกระจายตัวเฉลี่ยมากกว่าหน้าสัมผัสที่ทำมาจากวัสดุทองเหลือง และส่งผลไปถึงความร้อนที่เกิดขึ้น

บริเวณที่สัมผัส เมื่อพิจารณาคุณสมบัติอื่นๆของวัสดุ ในส่วนของน้ำหนักวัสดุแกรไฟต์เบากว่าวัสดุทองเหลือง ในส่วนของจุดแตกหักวัสดุทองเหลืองยืดหยุ่นกว่าวัสดุแกรไฟต์ และในส่วนของราคาวัสดุทองเหลืองถูกกว่าวัสดุแกรไฟต์ แต่คุณสมบัติในด้านการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นวัสดุทองเหลืองสามารถนำมาทดแทนในการใช้เป็นแถบหน้าสัมผัสได้

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยได้จำลองค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบริเวณแหนบรับไฟในระบบสายส่งจ่ายไฟฟ้าเหนือศีรษะ 25 กิโลโวลต์ เมื่อพิจารณาดูลักษณะการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณแหนบรับไฟแขนเดียวในสถานะ steady state โดยใช้วิธีไฟไนท์อิลิเมนท์แบบ 3 มิติ และเปลี่ยนวัสดุในบริเวณหน้าแถบสัมผัสของแหนบรับไฟเพื่อเปรียบเทียบค่าสนามแม่เหล็กที่บริเวณโดยรอบของแหนบรับไฟโดยการเลือกใช้วัสดุทั้งสำหรับหน้าแถบสัมผัส ได้แก่ แกรไฟต์ และทองเหลือง ซึ่งวัสดุทั้งสองชนิดนี้มีราคาถูกเมื่อพิจารณาแล้วมีคุณสมบัติในด้านการกระจายตัวของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าใกล้เคียงและสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนกันได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองหน้าแถบสัมผัสของแหนบรับไฟที่ใช้วัสดุแกรไฟต์จะมีค่าสนามแม่เหล็กสูงกว่าวัสดุทองเหลือง ซึ่งปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กนั้นจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า โดยสนามแม่เหล็กจะแปรผันตามระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบส่งจ่ายจ่ายไฟฟ้าเหนือศีรษะ และจะแปรผกผันกับวัสดุที่นำมาทำหน้าแถบสัมผัส สำหรับแหนบรับไฟแขนเดียวนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งสนามแม่เหล็กจะแปรผันตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่พิจารณา คือ สภาพนำทางไฟฟ้าและสภาพซาบซึมทางแม่เหล็ก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

[1] Eric Bonneton, (1994). *Pantograph Project*, University: McGill Research Centre for Intelligent Machines McGill.

[2] S. Fray, (2012). Railway Electrification Systems & Engineering. Delhi: White Word Publications. http://site.ebrary.com/id/10501851.

[3] ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์, (2018). *Railway Electrification SUT 1st EDITION, (พิมพ์ครั้งที่ 3)*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[4] J. Wu, (2018). Pantograph and Contact Line System, *Academic Press*, China.

[5] C. C. Maier, A. Schirrer, M. Kozek, (2018). Real-time capable nonlinear pantograph models using local model networks in state-space configuration, Mechatronics, vol.50, no. 11, pp. 292-304.

[6] A. Schirrer, G. Aschauer, E. Talic, M. Kozek, S. Jakubek, (2017). Catenary emulation for hardware-in-the-loop pantograph testing with a model predictive energy-conserving control algorithm, Mechatronics, vol.41, pp. 17-28.

[7] S. Tupsie, A. Isaramongkolrak, and P. Pao-la-or, (2009). Analysis of Electromagnetic Field Effects Using FEM for Transmission Lines Transposition, *The World Academy of Science Engineering and Technology*, Tokyo, Japan, vol. 3, no. 5, pp. 870-874.

[8] A. Bunmat and P. Pao-la-or, (2015). Analysis of magnetic field effects operators working a power transmission line using 3-D finite element method, *2015 18th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Pattaya, Thailand, pp. 1187-1191.

[9] P. Saikham, P. Pao-La-Or, T. Yuangkaew, and A. Bunmat, (2023). Electromagnetic Field Simulation of Pantograph for Electric Train Using 3D Finite Element Method, *2023 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Krabi, Thailand, pp. 68-71.

[10] M. V. K. Chari and S. J. Salon, (2000). *Numerical methods in electromagnetism*, Academic Press, USA.

[11] Jr. W. H. Hayt and J.A. Buck, (2006). Engineering Electromagnetics (7th edition), *McGraw-Hill*, Singapore.

[12] S. Hadi, (1999). *Power System Analysis*, Senior Consulting Edition (3rd ed.), New York: Mc-Graw Hill.

[13] R. Lerch, (1990). Simulation of piezoelectric devices by two and three dimension finite element, *IEEE Transactions on Ultrasonics*, 37 (2): 233-247.

[14] M. Ibrahim and A. Abd-Elhady, (2017), Calculation of Electric Field and Partial Discharge Activity Reduction for Covered Conductor/High Voltage Insulator Systems, *Electric Power Systems Research*, vol. 144, pp. 72-80.

[15] Y. Fan, H. Li, and S. Yang, (2018). Simulation Study on Electric Field Intensity above Train Roof, Advances in Materials, Machinery, Electronics II AIP Conf. Proc. vol. 1955, pp. 040066-1 – 040066-6.

[16] P. Pao-la-or, and A. Bunmat, (2019). Shielding of Magnetic Field Effects on Operators Working a Power Transmission Lines Using 3-D FEM, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, vol. 8, no. 5, pp. 779-785.

[17] International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), (1998). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz), *Health Phys*, vol. 74, no. 4, pp. 494-522.

[18] T. Zhao, W. Teng, H. Hao, P. Sun, and Y. Liu, (2019). Simulation Research on Electromagnetic Shielding Characteristics of Carbon Fiber Car Body for Railway Vehicles, *8th International Congress of Information and Communication Technology (ICICT)*, vol. 154, pp. 537–542.

[19] S. D. Pawar, , P. Murugavel, and D. M. Lal (2009). Effect of relative humidity and sea level pressure on electrical conductivity of air over Indian Ocean, Journal of geophysical research, vol. 114, D02205.

[20] A. Uygun and J. I. Velasco (2012). Electrical Conductivity Modeling of Polypropylene Composites Filled with Carbon Black and Acetylene Black, *International Scholarly Research Network ISRN Polymer Science*.

อิทธิพลทางการศึกษาของประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีที่มีต่อเทคนิคศึกษาของประเทศไทย
The Influence of German Education on Thai Technical Education

ธงชัย สมบูรณ์

ภาควิชาพื้นฐานการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
*Corresponding Author: Thongchai.s@rumail.ru.ac.th, 0813720930

บทคัดย่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศถือว่าเป็นลักษณะหนึ่งของสังคมโลกที่ทำให้เกิดการเรียนรู้และเสริมสร้างความเข้าใจอันดีซึ่งกันและกัน ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศนอกจากจะทำให้เกิดความสัมพันธ์ทางด้านการฑูตแล้วยังทำให้การพัฒนาในมิติอื่นด้วยเช่น มิติทางด้านเศรษฐกิจ มิติทางด้านสังคมและมิติทางด้านการศึกษาด้วย จากประวัติศาสตร์จะเห็นว่าประเทศไทยมีความสัมพันธ์ทางการทูตกับประเทศสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีเป็นเวลานานจึงทำให้ได้รับอิทธิพลในพัฒนาประเทศหลายด้านทั้งด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยีและด้านการศึกษา สำหรับอิทธิพลทางการศึกษาของประเทศสหพันธสาธารณรัฐเยอรมนีที่มีต่อด้านเทคนิคศึกษาของประเทศไทยนั้นได้แก่ ด้านการแลกเปลี่ยนนักวิชาการ ด้านการพัฒนาหลักสูตร ด้านการพัฒนาการจัดการเรียนรู้และด้านการให้ทุนส่งเสริมการเรียนการสอนและการให้ทุนเพื่อการวิจัย นอกจากนี้อิทธิพลทางการศึกษาของประเทศสหพันธสาธารณรัฐเยอรมนีที่มีต่อเทคนิคศึกษาคือการเรียนรู้ตลอดชีวิตเพื่อการประกอบอาชีพของคนไทยที่พำนักอาศัยในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี

คำสำคัญ: เทคนิคศึกษา; อิทธิพลทางการศึกษา; ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ

Abstract

International relation is one of the global learning and which is the main process of international understanding. International relation can be fulfilled of the diplomatic sphere and other spheres of development such as economic, society and also education. Throughout the long history of international relation, Thailand has been engaged of international relation with many countries including of the Germany. This closed relation between the two countries, Thailand has brought the influence in the aspect of science, technology and education. For the aspect of education especially on Thai technical education, German education has strongly influenced on the aspect of scholars' exchange, curriculum development, learning development and the promoting of funds and scholarships for the achievement of instructional approaches and researches. Moreover, it also plays the role of life-long learning to Thais who live in Germany.

Keywords: Technical education; Influence of education; International relationship

บทนำ

ในบทความนี้ผู้เขียนขอใช้คำที่เป็นแทนชื่อทางการของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีเป็นประเทศเยอรมนีซึ่งเป็นชื่อที่ทุกคนเข้าใจและคุ้นชินกับคำว่าประเทศเยอรมนี

มองผ่านประวัติศาสตร์ความสัมพันธ์ไทยกับสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีในสมัยที่ประเทศเยอรมนียังคงแยกเป็นรัฐเสรีหลายรัฐ ได้มีรัฐสำคัญอย่างปรัสเซียที่จัดตั้งจัดตั้งคณะทูตสันถวไมตรีแห่งปรัสเซียมายังสยามประเทศ โดยมีหัวหน้าคณะทูตคือ เคานท์ ซู ออยเลนบวร์ก (Count Friedrich zu Eulenburg) พร้อมคณะซึ่งประกอบด้วยนักวิทยาศาสตร์ นักสังคมวิทยาและนักการศึกษาชาวเยอรมันหลายคนที่เดินทางมาประเทศไทยและถึงในวันที่ 22 พฤศจิกายน พ.ศ. 2405 ซึ่งตรงกับรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 4)

การเจรจาการค้าพระราชไมตรี ด้านการค้าและการเดินเรือระหว่างสองประเทศเริ่มขึ้นในวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2406 โดยมีเจ้าฟ้ากรมหลวงวงศาธิราชสนิท เป็นหัวหน้าคณะเจรจาฝ่ายไทย ซึ่งทางปรัสเซียไม่มีนโยบายล่าอาณานิคมในแถบเอเชียอาคเนย์ การเจรจาเสร็จสิ้นและลงนามสัญญา ณ วันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2406 โดยสัญญาระบุถึงการปฏิบัติไมตรีต่อกัน ต่อมาในปี พ.ศ. 2422 ได้มีการตั้งสถานทูตไทย ณ กรุงเบอร์ลิน และ พ.ศ. 2431 ได้มีการเลื่อนระดับสถานกงสุลเยอรมนีขึ้นเป็นสถานอัครราชทูตเยอรมนี ณ กรุงเทพมหานครความสัมพันธ์ระหว่างประเทศไทยกับประเทศเยอรมนีดำเนินมาเป็นเวลานานแล้ว โดยเริ่มต้นจากความสัมพันธ์ทางการค้ากับรัฐอิสระของประเทศเยอรมนีนั้นเกิดขึ้นเมื่อไทยได้ทำสนธิสัญญาไมตรีทางการค้าและการเดินเรือกับ 3 รัฐอิสระของสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี (Treaty of Friendship, Commerce and Navigation between the Kingdom of Siam and the Hanseatic Republics) ซึ่งได้แก่ ลือเบค (Lübeck) เบรเมน (Bremen) และฮัมบูร์ก (Hamburg) ในปี พ.ศ. 2401 และปี พ.ศ. 2551 นับเป็นวาระครบรอบ 150 ปีแห่งความสัมพันธ์ทางการค้าระหว่างทั้งสองประเทศ

เมื่อวันที่ 7 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2405 ไทยได้สถาปนาความสัมพันธ์ทางการทูตกับเยอรมนี โดยการจัดทำสนธิสัญญาทางไมตรี การค้า และการเดินเรือ (Treaty of Amity, Commerce and Navigation with Prussia, in the name of the German Customs and Commercial Union) หรือสนธิสัญญาออยเลนบัวร์ก ซึ่งเป็นข้อตกลงทางการค้ากับตัวแทนของเยอรมนีในขณะนั้นคือ แคว้นปรัสเซียและไทยได้เริ่มดำเนินความสัมพันธ์ทางการทูตในระดับอัครราชทูต (ปี พ.ศ. 2426 – พ.ศ.2498) เป็นครั้งแรกซึ่งในระยะแรกมีสำนักงานตั้งอยู่ที่กรุงลอนดอนโดยหม่อมเจ้าปฤษฎางค์ ชุมสาย เป็นอัครราชทูต และต่อมาในปี พ.ศ. 2430 จึงได้จัดตั้งสถานอัครราชทูต ณ กรุงเบอร์ลิน(Berlin)เป็นครั้งแรกโดยพระยาดำรงค์ราชพลขันธ์ (พระมหาโยธาหรือนกแก้ว คชเสนี) เป็นอัครราชทูต

ต่อมาในปี พ.ศ. 2498 หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สหพันธรัฐเยอรมนีได้แบ่งเป็นสองประเทศคือประเทศเยอรมนีตะวันตกและประเทศเยอรมนีตะวันออกและประเทศไทยมีการยกระดับความสัมพันธ์ทางการทูตขึ้นเป็นระดับเอกอัครราชทูตโดยได้จัดตั้งสถานเอกอัครราชทูตที่กรุงบอนน์ (Bonn) มีเขตอาณาครอบคลุมประเทศเยอรมนีตะวันตกและสถานกงสุลใหญ่ที่นครเบอร์ลิน (Berlin)มีเขตอาณาครอบคลุมประเทศเยอรมนีตะวันออกโดยมีหลวงชำนาญนิติเกษตร(อุทัย แสงมณี) ดำรงตำแหน่งเอกอัครราชทูตเป็นคนแรก [1]

เมื่อประเทศเยอรมนีได้รวมประเทศเป็นสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีและย้ายที่ทำการของรัฐสภาและรัฐบาลของประเทศเยอรมนีจากกรุงบอนน์(Bonn)ไปยังกรุงเบอร์ลิน (Berlin) ไทยได้ย้ายสถานเอกอัครราชทูตจากกรุงบอนน์ (Bonn) ไปยังกรุงเบอร์ลินเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2542 และนายกษิต ภิรมย์ ซึ่งดำรงตำแหน่งเอกอัครราชทูตในขณะนั้นซึ่งเป็นคนแรกภายหลังการรวมประเทศของสหพันธรัฐเยอรมนี สำหรับที่ทำการเดิมที่กรุงบอนน์

(Bonn) ได้จัดตั้งเป็นสำนักงานสถานเอกอัครราชทูตสาขากรุงบอนน์ขึ้นซึ่งได้ปิดทำการเมื่อวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2544 และไทยได้เปิดสถานกงสุลใหญ่ที่เมืองแฟรงก์เฟิร์ต(Frankfurt) เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2545 โดยมีนางสาววารุกาญจน์ เกียรติวัฒนกุล ดำรงตำแหน่งกงสุลใหญ่ที่นครแฟรงก์เฟิร์ตเป็นคนแรก และคณะรัฐมนตรีมีมติให้เปิดสถานกงสุลใหญ่ ณ นครมิวนิก เมื่อวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2560 โดยมีนายพินเทพ เทวกุล ณ อยุธยา เป็นกงสุลใหญ่ที่นครมิวนิค (Munich) นอกจากนี้ ไทยได้จัดตั้งสถานกงสุลกิตติมศักดิ์อีกใน 4 เมือง

ในปัจจุบันนี้ (พ.ศ.2566) ไทยยังได้มีความสัมพันธ์ทางการทูตกับประเทศเยอรมนีในทุกด้านและมีที่ตั้งสถานเอกอัครราชทูตในประเทศเยอรมนีจำนวน 6 แห่ง ในแต่ละเมืองดังนี้ [2]

1. กรุงเบอร์ลินBerlin Koeniglich-Thailaendische Botschaft (สถานเอกอัครราชทูต ณ กรุงเบอร์ลิน)

2. เมืองแฟรงก์เฟิร์ต Frankfurt Koeniglich-Thailaendisches Generalkonsulat (สถานกงสุลใหญ่ ณ เมืองแฟรงก์เฟิร์ต)

3. เมืองฮัมบวร์ก Hamburg Thailaendisches General Honorarkonsulat (สถานกงสุลใหญ่กิตติมศักดิ์)

4. เมืองดุสเซลดอร์ฟ Duesseldorf Thailaendisches General Honorarkonsulat (สถานกงสุลใหญ่กิตติมศักดิ์)

5. เมืองสตุตต์การ์ต Stuttgart Thailaendisches Honorarkonsulat (สถานกงสุลกิตติมศักดิ์

6. เมืองมิวนิค MuenchenThailaendisches General Honorarkonsulat (สถานกงสุลใหญ่กิตติมศักดิ์)

นอกจากนี้ยังปรากฏว่าชายชาวเยอรมันนิยมแต่งงานกับผู้หญิงไทยจากนั้นได้มีการตั้งรกรากและสร้างสถาบันครอบครัวที่มั่นคงในสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนีในปัจจุบันอีกด้วย ปรากฏการณ์ทางสังคมในลักษณะทำให้เกิดการเรียนรู้ตลอดชีวิตและถือได้ว่าคนไทยที่พำนักอาศัยที่ประเทศนี้ได้เรียนรู้วัฒนธรรมการอยู่ร่วมกันอย่างมีความสุข ทั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของสุภางค์ จันทวานิชและคณะ [3] ที่ได้ทำวิจัยเรื่อง “การย้ายถิ่นของหญิงไทยไปเยอรมนี: สาเหตุ ชีวิตความเป็นอยู่และผลกระทบในประเทศไทยและเยอรมนี” ผลการวิจัยพบว่าการดำเนินชีวิตมีหลากหลายรูปแบบและส่วนมากจะได้เรียนรู้วัฒนธรรมชาวเยอรมันเพื่อการใช้ชีวิตที่มีความสุขยิ่งขึ้น

พระโอรสในรัชกาลที่ 5: มองกาลเวลาที่ทรงศึกษา

ย้อนกลับไปในรัชสมัยของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่ (รัชกาลที่ 5) ที่ประเทศไทยได้มีการอภิวัตน์ประเทศให้มีความเจริญก้าวหน้าตามประเทศตะวันตกทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก การเมืองจากภายนอกประเทศ ความต้องการบุคคลเข้ารับราชการและประสบการณ์ของพระองค์ที่เสด็จประพาสยุโรปสองครั้ง โดยครั้งที่ 1 พระองค์เสด็จประพาสในปี พ.ศ. 2440 และครั้งที่ 2 ในปีพ.ศ. 2450 [4] ในการเสด็จในครั้งนั้นพระองค์ทรงเห็นความเจริญก้าวหน้าทางด้านสังคมวัฒนธรรมและการศึกษาจึงทำให้พระองค์เกิดแรงบันดาลพระราชหฤทัยในการอภิวัตน์ประเทศ ดังนั้นหลังจากที่พระองค์เสด็จกลับมาแล้วพระองค์ได้ส่งพระราชโอรสให้ทรงไปศึกษาในประเทศเยอรมนี ซึ่งมีรายพระนามดังนี้

1) สมเด็จเจ้าฟ้าบริพัตรสุขุมพันธ์ กรมพระนครสวรรค์วรพินิต (พ.ศ. 2424- พ.ศ. 2487) ทรงศึกษาวิชาสามัญที่อังกฤษแล้วทรงไปศึกษาวิชาทหารบกที่ประเทศเยอรมนี กลับมารับราชการจนได้รับพระราชทานยศเป็นจอมพลเรือ และจอมพลทหารบกดำรงตำแหน่งเสนาบดีกระทรวงทหารเรือ เสนาธิการทหารบก เสนาบดีกระทรวงกลาโหมและเสนาบดีกระทรวงมหาดไทย

2) พระองค์เจ้ารังสิตประยุรศักดิ์ สมเด็จกรมพระยาชัยนาทนเรนทร (พ.ศ.2424-94) ทรงศึกษาวิชาสามัญในประเทศอังกฤษและประเทศเยอรมนี ซึ่งต่อมาพระองค์ได้ศึกษาวิชาครูที่มหาวิทยาลัยไฮเดลเบริกร์ (Heidelberg University) ประเทศ

เยอรมนี เมื่อสำเร็จการศึกษาแล้วพระองค์ได้กลับมารับราชการในตำแหน่งอธิบดี กรมสาธารณสุข อธิบดีกรมมหาวิทยาลัย ผู้ช่วยปลัดทูลฉลอง กระทรวงธรรมการ ประธานคณะผู้สำเร็จราชการแทนพระองค์ ผู้สำเร็จราชการแทนพระองค์และประธานองคมนตรี

3) สมเด็จเจ้าฟ้ามหิดลอดุลยเดช กรมหลวงสงขลานครินทร (สมเด็จพระมหิตลาธิเบศร อดุลยเดชวิกรม พระบรมราชชนก) (พ.ศ. 2434-2472) ทรงศึกษาวิชาสามัญที่โรงเรียนมัธยมแฮร์โรว์ ในประเทศอังกฤษ แล้วเสด็จไปศึกษาวิชาทหารบกและวิชาทหารเรือที่ประทศเยอรมนี ต่อมาพระองค์ได้ไปศึกษาวิชาสาธารณสุขศาสตร์และวิชาแพทยศาสตร์ที่มหาวิทยาลัยฮาร์วาร์ด (Harvard University) ประเทศสหรัฐอเมริกา [4-5]

จากการที่พระบาทสมเด็จพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้ส่งพระราชโอรสไปศึกษาที่ประเทศนี้นอกจากจะเป็นการเพิ่มความสัมพันธ์ทางด้านการฑูตแล้วยังเป็นกุศโลบายที่จะให้ประเทศไทยในสมัยนั้นรอดพ้นจากการคุกคามของลัทธิจักรวรรดินิยมด้วย

พินิจวันวาน: พระบรมราโชวาทในพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว

สืบเนื่องมาจากการที่พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวส่งพระราชโอรสไปศึกษาที่ยุโรป รวมทั้งที่สหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมนี พระองค์ทรงให้ความสำคัญกับสามภาษาคือ ภาษาอังกฤษ ภาษาฝรั่งเศสและภาษาเยอรมัน ดังจะเห็นในพระบรมราโชวาทที่ทรงพระราชนิพนธ์ เมื่อ พ.ศ. 2428 ว่า “...วิชาที่จะออกไปเรียนนั้นก็คงต้องไปเรียนภาษาและหนังสือในสามภาษา คือ อังกฤษ ฝรั่งเศส และ เยอรมัน ให้ได้แม่นยำ ชัดเจน คล่องแคล่ว จนถึงแต่งหนังสือได้สองภาษาเป็นอย่างน้อยเป็นวิชาหนังสืออย่างหนึ่ง กับวิชาเลขให้เรียนรู้คิดใช้ได้ในการต่างๆ อีกอย่างหนึ่ง เป็นต้น วิชาสองอย่างที่จำเป็นจะต้องเรียนให้รู้ให้ได้จริงๆ เป็นชั้นต้น แต่วิชาอื่นๆ ที่จะเรียนต่อไปให้เป็นวิชาชำนาญวิเศษในกิจการข้างวิชานั้น จะตัดสินเป็นแน่นอนว่าให้เรียนสิ่งใดในเวลานี้ก็ยังไม่ควรจะต้องเป็นคำสั่งต่อภายหลัง เมื่อรู้วิชาชั้นต้นพอสมควรแล้ว แต่บัดนี้จะตักเตือนอย่างหนึ่งก่อนว่า ซึ่งได้ออกไปเรียนภาษาวิชาการในประเทศยุโรปนั้น ใช่ว่าจะต้องการเอามาใช้แต่เฉพาะภาษาฝรั่งหรืออย่างฝรั่งอย่างเดียว ภาษาไทยและหนังสือไทยซึ่งเป็นภาษาของตัวหนังสือของตัวคงจะต้องใช้อยู่เป็นนิจ จงเข้าใจว่าภาษาต่างประเทศนั้นเป็นแต่พื้นของความรู้เพราะวิชาความรู้ในหนังสือไทยที่มีผู้แต่งไว้นั้นเป็นแต่ของเก่า ๆ มีน้อยเพราะมิได้สมาคมกับชาติอื่นช้านาน เหมือนวิชาการในประเทศยุโรปที่ได้สอบสวนซึ่งกันและกันจนเจริญรุ่งเรืองมากแล้วนั้น ฝ่ายหนังสือไทยจึงไม่พอที่จะเล่าเรียน จึงต้องไปเรียนภาษาอื่นเพื่อจะได้เรียนวิชาให้กว้างขวางออก แล้วจะเอากลับลงมาใช้เป็นภาษาไทยทั้งสิ้น เพราะฉะนั้นจะทิ้งภาษาของตัวให้ลืมถ้อยคำที่จะพูดให้สมควรเสีย หรือจะลืมวิธีเขียนหนังสือไทยที่ตัวได้ฝึกหัดแล้วเสียนั้นไม่ได้เลย ถ้ารู้แต่ภาษาต่างประเทศ ไม่รู้เขียนอ่านแปลลงเป็นภาษาไทยได้ก็ไม่เป็นประโยชน์อันใด ถ้าอย่างนั้นหาจ้างแต่ฝรั่งมาใช้เท่าไรเท่าไรก็ได้ ที่ต้องการนั้นต้องให้กลับแปลภาษาต่างประเทศลงเป็นภาษาไทยได้ แปลภาษาไทยออกเป็นภาษาต่างประเทศได้ จึงจะนับว่าเป็นประโยชน์อย่าตื่นตัวเองว่าได้ไปร่ำเรียนภาษาฝรั่งแล้วลืมภาษาไทย กลับเห็นเป็นการเก๋การกี๋อย่างเช่นนักเรียนบางคนมักจะเห็นผิดไปดังนั้น แต่ที่จริงเป็นการเสียที่ควรจะติเตียนแท้ทีเดียว เพราะเหตุฉะนั้นในเวลาที่ออกไปเรียนวิชาอยู่ขอบังคับว่าให้เขียนหนังสือถึงพ่อทุกคนอย่างน้อยเดือนละฉบับ เมื่อเวลายังเขียนหนังสืออังกฤษไม่ได้ก็เขียนมาเป็นหนังสือไทย ถ้าเขียนหนังสืออังกฤษหรือภาษาหนึ่งภาษาใดได้ให้เขียนภาษาอื่นนั้นมาฉบับหนึ่ง ให้เขียนคำแปลเป็นหนังสือไทยอีกฉบับหนึ่ง ติดกันมาอย่าให้ขาดเพราะเหตุที่ลูกยังเป็นเด็กไม่ได้เรียนภาษาไทย แน่นอนมั่นคง ก็ให้อาศัยไต่ถามครูไทยที่ออกไปอยู่ด้วยหรือค้นดูตามหนังสือภาษาไทยซึ่งได้จัดออกไปให้ด้วย คงจะพอหาถ้อยคำที่จะใช้แปลออกเป็นภาษาไทยได้ แต่หนังสือไทยที่จะเป็นกำลังช่วยอย่าง

นี้ยังมีน้อยจริง เมื่อเขียนเข้ามาคำใดผิดจะติเตียนออกไปแล้วจงจำไว้ใช้ให้ถูกต่อไปภายหน้า อย่าให้มีความกลัวความกระดากว่าผิด ให้ทำตามที่เต็มอุตสาหะความแน่ใจว่าเป็นถูกแล้ว เมื่อผิดก็แก้ไปไม่เสียหายอันใด..." [6]

จากพระราชนิพนธ์ดังกล่าวจะเห็นว่าพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวทรงให้ความสำคัญกับการศึกษาทางด้านภาษาสากลและทรงให้ความสำคัญกับรายงานความก้าวหน้า (Progressive report)ในการศึกษาเล่าเรียนของพระราชโอรสโดยทรงกำชับให้เขียนจดหมายถึงพระองค์อย่างน้อยเดือนละหนึ่งฉบับเพราะการเขียนรายงานความก้าวหน้าจะเป็นหลักฐานอย่างหนึ่งถึงพัฒนาการการเรียนรู้ของผู้เรียน นอกจากนี้พระองค์ยังทรงให้ข้อคิดและแนวทางในการเรียนในต่างประเทศโดยทรงกำชับว่าถ้าหากไม่เข้าใจให้ไตร่ถามครูผู้สอนเพราะครูผู้สอนจะมีบทบาทในการถ่ายทอดความรู้ให้กับผู้เรียนอย่างไม่ปิดบัง [7] ซึ่งพระบรมราโชวาททั้งหมดนี้นับเป็นพระมหากรุณาธิคุณที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนของประเทศไทยเป็นอย่างยิ่ง

ทุนการศึกษาและมิติการส่งเสริมการเรียนรู้ที่มีต่อประเทศไทย

การศึกษาและการเรียนรู้ถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดการพัฒนา จากอดีตจนถึงปัจจุบันจะเห็นได้ว่าประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีได้มีการส่งเสริมการศึกษาของสังโลกเพื่อให้ทุกประเทศได้มีโอกาสพัฒนาประเทศของตนเองให้ดีขึ้น ด้วยความมั่นคงทางด้านเสถียรภาพทางด้านเศรษฐกิจทำให้ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีได้ให้การสนับสนุนการศึกษาของสังคมโลกรวมทั้งประเทศไทยด้วย ซึ่งภาครัฐบาลและภาคเอกชนต่างให้โอกาสกับผู้ที่มีความสามารถได้เข้าไปศึกษาและสามารถนำความรู้มาพัฒนาประเทศของตนองได้ ซึ่งทุนเหล่านี้ได้แก่ทุนรัฐบาลในแต่ละปีซึ่งจะจัดสรรงบประมาณประจำปีเพื่อมาสนับสนุนเป็นทุนการศึกษาสำหรับนักเรียนต่างชาติ ซึ่งทุนเหล่านี้ ได้แก่

1. ทุนDAAD (Deutscher Akademischer Austausch Dienst) จะเรียกในภาษาอังกฤษว่า German Academic Exchange Service ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐบาลเยอรมันที่ให้ทุนการศึกษาแก่นักเรียนทั้งนักเรียนเยอรมันที่จะไปเรียนต่างประเทศและนักเรียนต่างชาติที่จะมาเรียนที่ประเทศเยอรมนี ซึ่งทุน DAAD นี้จะมีให้ทั้งปริญญาโทและปริญญาเอก ทุนดูงาน ทุนทำวิจัย ทุนระยะสั้นและทุนระยะยาว

2. ทุน Erasmus เป็นทุนสำหรับนักเรียนที่มีถิ่นที่อยู่อยู่ในสหภาพยุโรปเพราะเป็นทุนที่ให้โดย European Commission ทุนนี้ให้ทุนสำหรับค่าใช้จ่ายในแต่ละปี เมื่อนักเรียนต้องการไปแลกเปลี่ยนที่ประเทศอื่นในยุโรป ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนีจัดว่าเป็นประเทศที่สำหรับนักเรียนทุน Erasmus ในบางปีจะมีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

3. ทุนสำหรับนักเรียนต่างชาติ Heinrich Böll (ฮายริกช์ โบว์) เป็นทุนที่เปิดกว้างสำหรับนักเรียนเยอรมัน และนักเรียนต่างชาติซึ่งสามารถทำเรื่องขอทุนได้ทุกระดับตั้งแต่ปริญญาตรีจนถึงปริญญาอก ทุนนี้ในหนึ่งปีจะเปิดให้สมัคร 2 ครั้ง

4. ทุน Deutschland Stipendium สำหรับนักเรียนที่มีผลการเรียนดี ทุนการศึกษานี้ ให้ค่าใช้จ่ายถึง 300 ยูโรต่อเดือนหรือประมาณ 15,000 บาท ซึ่งทั้งหมดนี้ขึ้นอยู่กับพันธมิตรทั้งภาครัฐและเอกชน องค์กร ภาคธุรกิจและนักเรียนที่มีความสามารถที่ได้รับการสนับสนุนประมาณเดือนละ 150 ยูโร ทั้งนี้จะได้รับการจัดสรรโดยรัฐบาลกลาง

5. ทุน Kurt Hansen Science อันนี้เป็นทุนการศึกษาสำหรับนักเรียนต่างชาติในสาขาวิทยาศาสตร์ค่ะ ซึ่งทำการให้ทุนโดยกองทุน Bayer Foundation โดยที่ทุนนี้จะครอบคลุมค่าใช้จ่ายในการทำโครงงาน (Project) กระบวนวิชาเรียนภาคฤดูร้อน กระบวนวิชาปรับพื้นฐานรวมถึงการฝึกอบรมด้วย

6. Frankfurt School of Finance and Management Doctoral Tuition Waivers ซึ่งทุกปีจะมีการมอบทุนการศึกษาจำนวน 10 ทุน สำหรับ

นักเรียนชั้นปริญญาเอกในภาควิชาภาษาอังกฤษ การบัญชี คณิตศาสตร์และการบริหารธุรกิจ

7. ทุน RWTH Aachen University มหาวิทยาลัยนี้ ติดอันดับ 1 ใน 100 ของการจัดอันดับมหาวิทยาลัยโลกโดย Times Higher Education มหาวิทยาลัยยังจัดสรรทุนการศึกษาให้กับนักเรียนชาวเยอรมันและนักเรียนต่างชาติ ด้วยความเป็นมหาวิทยาลัยชั้นนำของประเทศจึงทำให้นักเรียนและนักศึกษาต่างชาติอยากที่จะเข้ามาศึกษาในมหาวิทยาลัยแห่งนี้

8. โปรแกรม FRIAS Cofound Fellowship สำหรับนักวิจัยต่างชาติ เช่น มหาวิทยาลัยไฟร์เบริ์ก (University of Freiburg) เป็นมหาวิทยาลัยที่มีชื่อเสียงทางด้านการทำวิจัยและมหาวิทยาลัยนี้ยังมอบทุนการศึกษาให้กับนักเรียนต่างชาติที่เรียนที่นี่ โดยปกติแล้วจะประกาศรายละเอียดเกี่ยวกับทุนในช่วงหน้า

9. ทุน DRD สำหรับ นักเรียนจากทะเลทรายซาฮารา แอฟริกา (Sub-Saharan Africans) สำหรับนักเรียนปริญญาโทที่สนใจ ทุนการศึกษานี้เปิดให้สมัครได้สำหรับการทำวิจัยและการศึกษาต่อที่ประเทศเยอรมัน โดยที่นักเรียนที่สมัครจะต้องเป็นนักเรียนที่มาจากแอฟริกา แถบทะเลทรายซาฮารา [2]

อิทธิพลทางการศึกษาของประเทศเยอรมนีที่ต่อเทคนิคศึกษาของไทย

1. ด้านการแลกเปลี่ยนนักวิชาการ จากสัมพันธไมตรีของทั้งสองประเทศนั้น จะเห็นได้ว่าการศึกษาในระดับอุดมศึกษามีการส่งเสริมให้นักวิจัยไทยและนักวิจัยของประเทศเยอรมนีได้มีโอกาสทำการวิจัยร่วมกัน ตลอดจนแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์การวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องด้านสังคมศาสตร์ ดังจะเห็นได้จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี รวมทั้งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่นและวิทยาเขตอื่นได้มีการแลกเปลี่ยนอาจารย์ในหลายสาขาเพื่อพัฒนาสมารถนะทางด้านวิชาการ [8] นอกจากนี้ทั้งสองประเทศได้ทำความตกลงร่วมกันในการจัดสรรงบประมาณสำหรับค่าใช้จ่ายให้นักวิจัยไทย เดินทางไปทำวิจัยในประเทศเยอรมนีและให้นักวิจัยเยอรมันเดินทางเข้ามาทำวิจัยในประเทศไทยแนวปฏิบัติที่ดี(Best Practice) จากการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

2. ด้านการพัฒนาหลักสูตร การจัดหลักสูตรแบบทวิภาคี (Dual system) การจัดหลักสูตรแบบการอบรมระยะสั้นกับผู้ประกอบการ (Short Training with Entrepreneur) รวมทั้งหลักสูตรอบรมทางด้านวิชาชีพ(Vocational Education Training) จากประวัติศาสตร์การจัดการศึกษาทางด้านอาชีวศึกษาจะเห็นได้ว่าประเทศเยอรมนีเป็นต้นแบบของการจัดการศึกษาแบบทวิภาคี [9] ซึ่งทำให้สถาบันการศึกษาในระดับอุดมศึกษาหลายแห่งนำมาเป็นต้นแบบในการพัฒนาหลักสูตรเพื่อให้เกิดอีกหนึ่งทางเลือกของผู้เรียน นอกจากนี้การปรับปรุงความหลากหลายของสาขาวิชาที่เทคนิคศึกษาของไทยที่ให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของความต้องการตลาดแรงงานซึ่งสอดคล้องกับศูนย์ยุโรปเพื่อการพัฒนาฝึกอบรมวิชาชีพ (European Centre for the Development of Vocational Training, CEDEFOP) ที่มุ่งฝึกให้ผู้เรียนมีทักษะการประกอบอาชีพ [10]

3. ด้านพัฒนาการจัดการเรียนรู้และการให้ทุนสนับสนุนการเรียนการสอน อิทธิของประเทศเยอรมนีที่ส่งผลต่อเทคนิคศึกษาของประเทศไทยในด้านนี้คือ การจัดการเรียนรู้ที่เน้นประสบการณ์จริง (Experience learning) การเรียนรู้แบบโครงงาน (Project-based learning) ซึ่งเป็นการฝึกให้ผู้เรียนได้ทำงานร่วมกับผู้อื่นแบบสร้างสรรค์ การพัฒนาด้านการจัดการเรียนรู้ที่ประเทศเยอรมนีมีอิทธิพลต่อเทคนิคศึกษาไทยคือ การสร้างความสามารถในการแข่งขัน (Competition) ความสามารถในการสร้างผลผลิตหรือผลิตภัณฑ์ (Productivity) ทักษะประสมประสาน (Intermediate skills) และความสามารถ

ในการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-learning) นอกจากนี้ อิทธิพลปรัชญาการศึกษาของประเทศเยอรมนีที่มีต่อเทคนิคศึกษาของไทยคือ ปรัชญาศึกษาของ Friedrich Wilhelm August Froebel ผู้วางรากฐานสำหรับการศึกษาสมัยใหม่โดยพิจารณาว่าเด็กมีความต้องการและความสามารถเฉพาะตัว จึงทำให้การจัดการเรียนรู้ในทุกหลักสูตรมีลักษณะยึดผู้เรียนเป็นศูนย์กลางและมีการพัฒนาศักยภาพและความสามารถในวิชาชีพและการใช้ชีวิตอย่างมีคุณภาพ [11-12]

บทสรุป

ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศมีผลต่อการพัฒนาในทุกด้านทั้งด้านความร่มมือ การลดความขัดแย้ง การพัฒนาวัฒนวิถีชีวิตซึ่งกันและกัน จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างประเทศเยอรมนีกับประเทศไทยมีระยะเวลานานในความสัมพันธ์นี้ทำให้ประเทศไทยได้เรียนรู้มิติการพัฒนาทางด้านการศึกษาหลายอย่างรวมทั้งด้านเทคนิคศึกษาด้วย ดังนั้นการที่จะพัฒนาให้ความสัมพันธ์มีลักษณะที่ยั่งยืนจำเป็นอย่างยิ่งที่รัฐบาลทั้งสองประเทศจะต้องไม่แทรกแซงทางด้านการเมืองซึ่งกันและกันและที่สำคัญถึงแม้ว่าประเทศเยอรมนีจะมีอิทธิพลต่อประเทศไทยในลักษณะหลายมิติแต่รัฐบาลไทยและคนไทยจะต้องรู้จักปรับประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับปริบทของตนเองจะไม่ทำให้เกิดการครอบงำและจะทำให้อัตลักษณ์ของประเทศไทยยังคงอยู่ได้อย่างสง่างามและยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณเจ้าขององค์ความรู้ที่ได้นำมาสนับสนุนในบทความวิชาการครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณคณะผู้บริหารของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น กองบรรณาธิการของวารสารฉบับนี้ รวมทั้งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรับแก้ไขบทความเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ทางวิชาการจนผู้เขียนได้ส่งผ่านข้อความรู้สู่สาธารณวิทยา

เอกสารอ้างอิง

[1] วิชิตวงศ์ ณ ป้อมเพ็ชร สุจิตต์ วงศ์เทศ (บรรณาธิการ), 2544. **เศรษฐกิจสยามบทวิเคราะห์ในพระองค์เจ้าดิลกนพรัฐ กรมหมื่นสรรควิสัยนรบดี ดุษฎีบัณฑิตทางเศรษฐศาสตร์จากเยอรมันองค์แรกของสยาม.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.

[2] ทุนรัฐบาลเยอรมัน สืบค้นจาก https://www.hotcourses.in.th/study-in-germany/applying-to-university/nine-scholarships-in-germany เมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน 2566.

[3] สุภางค์ จันทวานิชและคณะ, 2542. **การย้ายถิ่นของหญิงไทยไปเยอรมนี: สาเหตุ ชีวิตความเป็นอยู่และผลกระทบในประเทศไทยและเยอรมนี**. กรุงเทพมหานคร:คณะรัฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4] ธงชัย สมบูรณ์, 2534. **อิทธิพลทางการศึกษาของต่างประเทศที่มีต่อโครงการศึกษาไทย (พ.ศ.2441-2464).**วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[5] 153 ปี แห่งไมตรี “เยอรมนี” ปิยะมิตรแดนสยาม สืบค้นจาก https://d.dailynews.co.th/article/351289/ เมื่อวันที่ 30 ตุลาคม 2566.

[6] พระบรมราโชวาทของพระบามสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว สืบค้นจาก https://kingchulalongkorn.car.chula.ac.th/th/library/detail/2890 เมื่อวันที่ 20 ตุลาคม 2566.

[7] ยนต์ ชุ่มจิต, 2553.**ความเป็นครู** (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

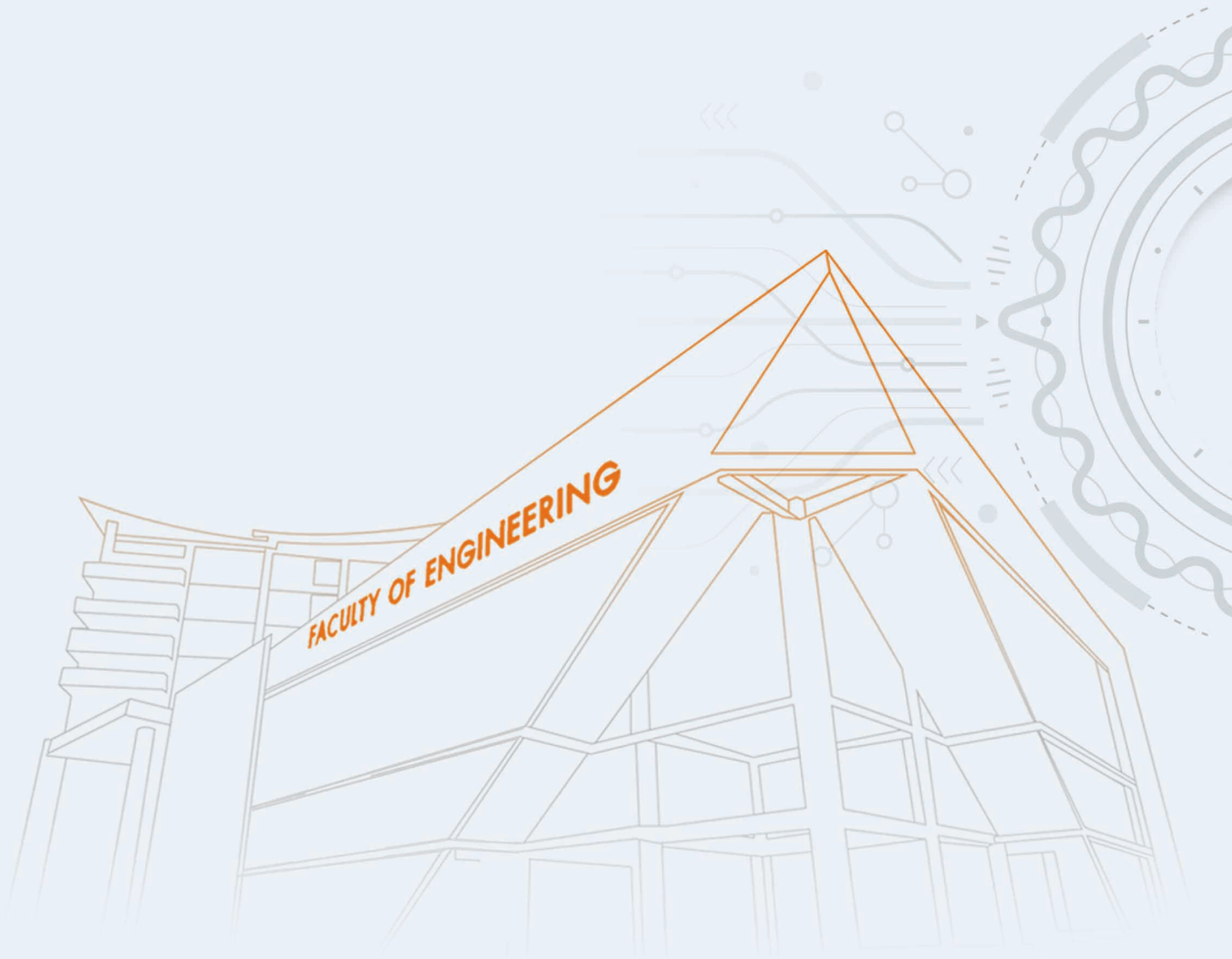
[8] วิเชียร แสงอรุณ. 2566. สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน 2566.

[9] ธงชัย สมบูรณ์ อรนุช ลิมตศิริ และสืบพงษ์ ปราบใหญ่, 2565. “**การจัดการอาชีวศึกษาของประเทศไทยกับประเทศเยอรมนี: การศึกษาเปรียบเทียบ”.**วารสารบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสวนดุสิต.18: 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม)15:29.

[10] CEDEFOP, 2011. **The Benefits of Vocational Education Training.** Luxemburg: Office of the European Union.

[11] ธงชัย สมบูรณ์, 2565. **การศึกษาและการพัฒนาแบบองค์รวม**. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[12] สถานทูตในประเทศเยอรมนี สืบค้นจาก https://www.thktranslation.com เมื่อวันที่ 25 ตุลาคม 2566.



งานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
โทรศัพท์ 043-283700 กด 83120 โทรสาร 043-338870
อีเมล์ gs.eng.kkc@rmuti.ac.th, gs.eng.rmuti.kkc@gmail.com
Website : www.eng.rmuti.ac.th