การอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าของกระบวนการอบยางยาแนวฝากระป๋อง ในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋อง

Electrical Energy Conservation of Can Lining Compound Curled Process in Can Industry

ชญาดา เทียนไชย[1], ธมนวรรณ เฉี้ยนเงิน[2], วรฤทัย ชูเทียร[2] และ เพ็ญพิสุทธิ์ ทองหยวก[2]*

Chayada Teanchai[1], Thamonwan Chein-ngern[2],

Woraruthai Choothian[2], and Penpisuth Thongyoug[2]*

[1]ศูนย์บริการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค สำนักงายการวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

[1]Ultrastructural Service Center, Research Office, Faculty of Dentistry, Mahidol University

[2]Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

*Email: thongyoug_p@silpakorn.edu

Received: March 29, 2022; Revised: November 08, 2022; Accepted: November 09, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าในกระบวนการอบยางยาแนวฝากระป๋อง (Lining Compound) ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการผลิตฝารุ่น Shell 300 โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนมาพิจารณาปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งเครื่องทำความร้อนหรือฮีทเตอร์ (Heater) และโบลเวอร์ (Blower) นอกจากนี้ได้ใช้ทฤษฎีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างของทาโร ยามาเน่ ในการสุ่มฝา Shell เพื่อเก็บข้อมูลทางสถิติ โดยคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นยางยาแนว อย่างไรก็ตามการปรับปรุงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าว ต้องคำนึงถึงความชื้นของยางยาแนวหลังอบไล่ความชื้นโดยต้องมีค่าน้อยกว่า 5% ตามที่มาตรฐานกำหนด และใช้ Control Chart ในการควบคุมคุณภาพความชื้นของยางยาแนวที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว จากการศึกษาพบว่า เมื่อปรับปรุงตำแหน่งของฮีทเตอร์และโบลเวอร์ โดยย้ายตำแหน่งไปที่บริเวณด้านบนของชุดตู้อบไล่ความชื้นยางยาแนว สามรถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 32.7 kWh หรือลดลง 37.36% จากเดิม โดยที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางยาแนวเท่ากับ 1.87% ซึ่งอยู่ในค่าที่มาตรฐานกำหนด จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่า สำหรับการดำเนินการปรับปรุงตำแหน่งในการวางอุปกรณ์ มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน

คำสำคัญ : การลดต้นทุนการผลิต, การอนุรักษ์พลังงาน , การปรับปรุงกระบวนการผลิต

Abstract

This work aims to investigated reduction electrical energy consumable solutions in lining compound curled process of can industry. It can be decreased the production costs of the Shell 300 production process. Heat transfer theory was applied to improve the installation position of heater and blower. In addition, the sample size of sampling shell was determined by using Taro Yamane' s sample size determination theory for statistic investigation. The moisture percentage of lining compound after curling

has to less than 5% according to the standard, and it was controls by control chart. The result of this work, after the installation position of the heater and blower were enhance. The electrical energy consummation decreased to 32.7 kWh or it can be decreased by 37.36%. Moreover, the moisture percentage of lining compound was 1.87%, which it followed the standard. An economic analysis of the payback period after the position of heater and blower improvement was 2 months.

Keywords : Cost reduction, Energy conservation, Process improvement

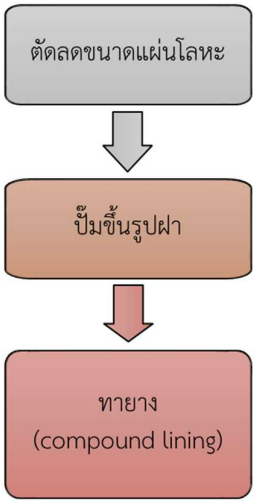
1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้นำบรรจุภัณฑ์โลหะทางด้านอาหารและเครื่องดื่มในประเทศไทย ได้เห็นถึงความสำคัญของปัญหาข้างต้น จึงให้ความร่วมมือกับภาครัฐในการลดการใช้พลังงานโดยไม่จำเป็น จึงเป็นที่มาของการทำโครงงานการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการอบ Lining Compound การที่จะสามารถปรับปรุงเครื่องจักรเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้นั้น จะต้องคำนึงถึงเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางเป็นหลัก เนื่องจากในกระบวนการ Lining Compound บริษัทกรณีศึกษาให้ความสำคัญกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางมากที่สุด หากยางมีความชื้นมากเกินไป จะทำให้ฝา Shell เกิดเป็นออกไซด์ (สนิม) และไม่สามารถส่งขายให้กับลูกค้าได้ ผู้วิจัยจึงใช้ทฤษฎีหลักการสุ่มตัวอย่างของ ทาโร ยามาเน่ ในการสุ่มจำนวนตัวอย่างฝา Shell เพื่อเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางก่อนและหลังการปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งฮีทเตอร์และโบลเวอร์ ซึ่งทั้งนี้ต้องควบคุมให้ความชื้นของยาง (compound) จะต้องไม่เกิน 5% ตามที่มาตรฐานของโรงงานได้กำหนดไว้ ทั้งนี้คณะผู้วิจัยเลือกใช้ Control Chart [1] ในการควบคุมคุณภาพความชื้นของยางยาแนวดังที่กล่าวไว้ข้างต้น และใช้ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของของไหล [2] มาช่วยในการวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงทิศทางลมร้อนให้เหมาะสมกับกระบวนการอบยาง เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของฮีทเตอร์ในการสร้างความร้อนสำหรับอบยาง และความชื้นของยางยังคงอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ขั้นตอนการผลิตฝา Shell

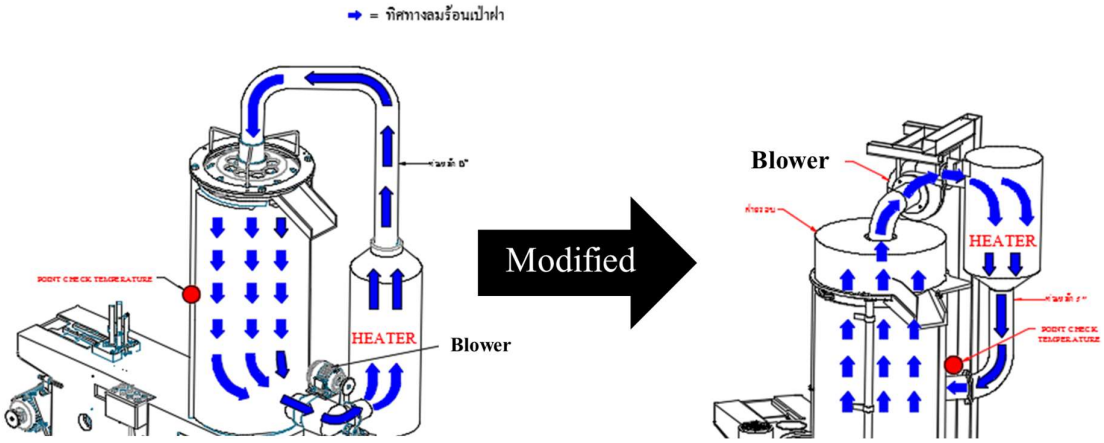
การผลิตฝากระป๋องประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก เป็นการตัดเตรียมแผ่นโลหะ (Metal sheet)ให้มีขนาดตามต้องการ จากนั้นส่งต่อไปยังขั้นตอนถัดไป โดยขั้นตอนที่ 2 เป็นการปั๊มขึ้นรูปด้วยเครื่องไฮดรอลิก จากนั้นชิ้นส่วนจากขั้นตอนนี้ จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการทายางยาแนวฝากระป๋อง คือ การฉีดยาง (compound injection) ลงบนบริเวณขอบของฝา Shell (ฝาที่ผ่านกระบวนการปั๊มขึ้นรูป ซึ่งมีลักษณะมีรอยขดเป็นวงคล้ายลายของก้นหอย) จากนั้นจะทำการอบฝาที่ทายางแล้วที่อุณภูมิ 40-60 °C เป็นเวลา 7 นาที เพื่อไล่ความชื้นออกจากยางที่ทาบนชิ้นงาน หลังจากนั้นฝาที่ผ่านการอบแล้ว จะถูกลำเลียงผ่านสายพานเพื่อให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพของฝา และบรรจุฝาลงในถุงพลาสติกเพื่อนำส่งให้กับแผนกถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 1 ฝา shell ที่ผ่านขั้นตอนทายางนี้จะต้องทำการอบเพื่อลดความชื้นของ compound โดยสถานประกอบการได้กำหนดมาตรฐานความชื้นที่กำหนดไม่เกิน 5% ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนผสมของน้ำในยางทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งส่งผลให้ชิ้นส่วนฝาเสียหาย



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตฝากระบอก (ฝา shell)

2.2 การปรับปรุงเครื่องอบแห้งฝากระป๋อง

ระบบตู้อบยางแบบใหม่ ได้ปรับปรุงตำแหน่งฮีทเตอร์และโบลเวอร์ไว้ทางด้านบนของตู้อบ โดยโบลเวอร์จะดูดลมร้อนที่ผ่านการอบฝาแล้วเข้าสู่ฮีทเตอร์ จากนั้นฮีทเตอร์จะสร้างลมร้อนใหม่ให้ไหลไปตามท่อเหล็กเพื่อเข้าสู่บริเวณกลางตู้อบ ซึ่งทิศทางของลมร้อนจะไหลจากล่างขึ้นบน โดยตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนในของไหลในที่นี้หมายถึงอากาศ และเมื่อได้รับความร้อนจะขยายตัวและลอยตัวสูงขึ้นเสมอทำให้การดูดอากาศกลับเป็นไปได้โดยง่าย โดยชิ้นงานที่ต้องการอบจะถูกลำเลียงเข้ากระบวนการอบอยู่ในตำแหน่งด้านล่างของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งฝากระป๋องในกระบวนการ Lining Compound ก่อนการปรับปรุง (ภาพซ้ายมือ) และหลังการปรับปรุง (ภาพขวามือ)

2.3 การกำหนดขนาดของตัวอย่าง

การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยาง ด้วยความเชื่อมั่น 95% จากข้อมูลย้อนหลังของบริษัท จำนวนการผลิตฝา Shell รุ่น A เฉลี่ยโดยประมาณ 300,000 ฝาต่อวัน โดยทฤษฎีทาโร ยามาเน่ [3] ดังสมการที่ (1) และจากการคำนวณตามสมการที่กล่าวมานั้น ทำให้สามารถกำหนดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการสุ่มคือ 400 ฝา โดยทำการวัดค่า 3 ตำแหน่ง เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักของฝาตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ในขั้นตอนการคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยาง

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

โดยตัวแปรในสมการที่ 1 คือ

n = จำนวนตัวอย่าง (ตัวอย่าง)

N = จำนวนที่ผลิตทั้งหมด (ฝา)

e = ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดใช้ค่าคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.05

2.4 การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยาง

ความชื้นของยางสำหรับงานวิจัยนี้ จะทำการคำนวณความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาณความชื้นหรือน้ำในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม [4] โดยมาตรฐานความชื้นที่ควบคุมในกระบวนการ Lining Compound อยู่ที่ 5% ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$\text{Moisture content} = \left(\frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_1}\right) \text{x } 100 \quad (2)$$

W_1 = น้ำหนักของฝาเปล่า (mg)

W_2 = น้ำหนักของฝาผ่านกระบวนการ Lining Compound

W_3 = น้ำหนักของฝาเปล่าและยางหลังเข้าตู้อบ Curling

2.5 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

โดยวัดค่าพลังงานที่ถูกใช้ไปของมอเตอร์เครื่อง มอเตอร์สายพาน มอเตอร์ชัก โบลเวอร์ และฮีตเตอร์ จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้มาคำนวณค่าไฟฟ้าดังสมการที่ (3)

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{kWh} \times \text{CT} \times \text{ค่าไฟต่อหน่วย} \quad (3)$$

kWh = ปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ในอัตรา 1,000 วัตต์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือ 1 หน่วยไฟฟ้า

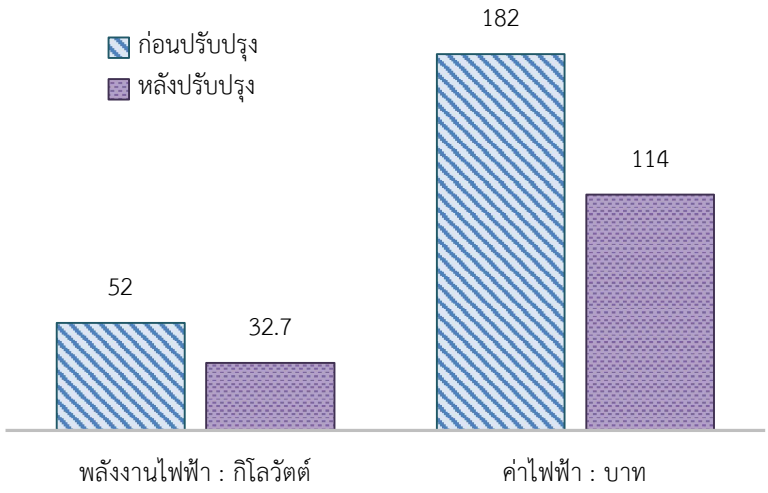
CT = อัตราส่วนของการแปลงกระแส จากกระแสด้าน primary เป็นกระแสด้าน secondary.

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการปรับปรุงเครื่องอบยางยาแนวฝากระป๋องด้วยการเปลี่ยนตำแหน่ง Heater และ Blower ส่งผลให้ความร้อนที่ให้ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 1 ทั้งนี้จะเป็นว่าการปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์นั้น ช่วยให้อุณหภูมิของชิ้นงานฝากระป๋องมีความแตกต่างน้อยลงจากอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อน คือ จากเดิม 45 องศาเซลเซียส จะมีอุณหภูมิที่วัดได้ที่ฝาอยู่ที่ 41.69 องศาเซลเซียส เป็น 44.1 องศาเซลเซียสโดยเฉลี่ย นั่นคือมีอุณหภูมิที่สูญเสียไปเพียง 0.9 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงอุณหภูมิที่ตั้งในการอบลดลงเหลือ 40 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง โดยนำชิ้นงานหลังอบมาวัดค่าและคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังอบ พบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่คำนวณได้มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย แต่มิได้เกินกว่าค่ามาตรฐานที่ทางบริษัทกำหนดไว้ ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในกระบวนการลดลง ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงได้นำไปคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลง ดังรูปที่ 3

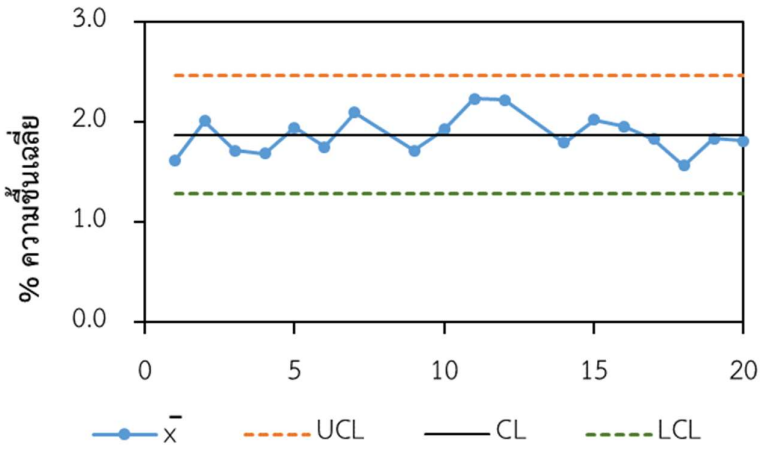
ตารางที่ 1 ผลการวัดอุณหภูมิฝา Shell ด้วย Data Logger ก่อนและหลังการปรับปรุง

	อุณหภูมิตู้ที่ตั้งไว้ (℃)	อุณหภูมิฝาที่วัดได้จาก Data Logger (℃)
ก่อนปรับปรุง	45	41.69
หลังปรับปรุง	45	44.1
หลังปรับปรุงตำแหน่ง (ทำการปรับลดอุณหภูมิ)	40	38.5



รูปที่ 3 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) และค่าไฟฟ้า (บาท) ก่อนและหลังการปรับปรุง

อย่างไรก็ตามแม้ว่าการปรับปรุงกระบวนการดังกล่าวจะไม่ส่งผลต่อความชื้นมาตรฐานที่ควบคุมได้ ทางคณะวิจัยยังคงดำเนินการเก็บข้อมูลความชื้นหลังการอบ เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระบวนยังคงดำเนินไปด้วยระดับคุณภาพที่มีความเชื่อถือได้ โดยแสดงดังแผนภูมิควบคุม (รูปที่ 4) ซึ่งจากแผนภูมิ $\bar{x}$ - Chart ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางที่ผ่านกระบวนการ Lining compound หลังการปรับปรุงตำแหน่งโบลเวอร์และฮีทเตอร์แสดงให้เห็นว่า ไม่มีข้อมูลจากการสุ่มตรวจสอบ จุดใดออกนอกสภาวะการควบคุม (In Control Condition) ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กระบวนการ Lining Compound ที่อยู่ภายใต้สภาวะการควบคุมสามารถประยุกต์ขีดจำกัดควบคุมสำหรับใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตได้ นั่นคือ การปรับปรุงที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการอบไล่ความชื้นยางนั้น ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของฝากระป๋องที่ผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว



รูปที่ 4 แผนภูมิควบคุม $\bar{x}$ - Chart ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางที่ผ่านกระบวนการ Lining compound หลังการปรับปรุงตำแหน่งโบลเวอร์และฮีตเตอร์

สำหรับการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ [5] โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปรับปรุง ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์ของเครื่องจักร ค่าแรงในการปรับปรุงและติดตั้งเรื่องจักร [6] สำหรับการปรับปรุงที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ รวมทั้งสิ้นโดยประมาณ 4,000 บาท ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ภายหลังการปรับปรุง โดยงวดระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้ คือ 0.16 ปี หรือ 2 เดือน โดยการนำค่าใช้จ่ายจากการปรับปรุงดังกล่าวมาเป็นข้อมูลในการคำนวณระยะเวลาคืนทุน ดังสมการที่ (4)

$$\text{เวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}} \quad (4)$$

4. สรุปผลการวิจัย

การปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งของฮีทเตอร์และโบลเวอร์ และการปรับตั้งอุณหภูมิของฮีทเตอร์ที่ใช้ในการอบสำหรับกระบวนการ Lining Compound Curled ของการผลิตกระป๋องให้มีค่าลดลงจากเดิม ส่งผลให้แผนกสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ 24,820 บาทต่อปี หรือค่าไฟฟ้าลดลงจากเดิม 37.36% โดยที่ยังสามารถควบคุมให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นของยางเฉลี่ยอยู่ที่ 1.87% ซึ่งอยู่ในระดับมาตรฐาน และเป็นไปตามเงื่อนไขที่ทางสถานประกอบการได้กำหนดไว้ (น้อยกว่า 5%) และจากการนำแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า มีระยะเวลาคืนทุน 2 เดือน อย่างไรก็ตามผลจากงานวิจัยนี้ สามารถนำไปขยายผลไปยังสายการผลิตอื่นที่มีลักษณะการทำงานที่ต้องมีขั้นตอนของ

การ Lining Compound Curled เป็นผลให้ผู้ประกอบการสามารถลดต้นทุนในเรื่องของค่าพลังงานด้านไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และได้รับการอนุเคราะห์การศึกษาวิจัยในพื้นที่ภาคอุตสาหกรรม โดย บริษัท โลหะกิจรุ่งเจริญทรัพย์ จำกัด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Nathaphan, *Quality Control*, Bangkok: SE-EDUCATION Public Company Limited, 2008 (in Thai).

[2] T. Patrakan and B. Sornil, *Applied Thermodynamics (3 rd Edition)*., Bangkok: KMUTNB Textbook Production Center, 2013 (in Thai).

[3] W. Rathachatranon, " Determining an Appropriate Sample Size for Social Science Research: The Myth of Using Taro Yamane and Krejcie & Morgan Method," , *Journal of Interdisciplinary Research: Graduate Studies*, vol.8, no.1, pp.11-28, 2019.

[4] N.Krachang and N.Uengkimbuan. "Kinetics and Turmeric Using Hot Air and Infrared Drying," *Burapha Sci. J.*, vol.21(3), pp.239-246, 2016.

[5] W. Choothian, P. Thongyoug, and S. Chuapisutkul "Feasibility Study of Installing Speed Control Devices in Compressed Air Systems," in proceeding of *7th National Research Conference Sukhothai Thammathirat Open University*, Bangkok Thailand, November. 24, 2017, pp. 1208 – 1216 (in Thai).

[6] W. Chaengsawang, "Energy Conservation with Participation in Plastic Parts Factory," 2 2 nd Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand, Thammasat University, Rangsit Center, Bangkok Thailand, October. 15-17, 2008, pp. 178-182 (in Thai).