

การใช้ประโยชน์จากเถ้าลอยในจังหวัดราชบุรีเป็นสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ เพื่อ ปรับปรุงสมบัติทางกลของกระเบื้องยางปูพื้น

Utilization of fly ash in Ratchaburi province as filler in natural rubber to improve the mechanical properties of rubber floor tiles

ประพนธ์ เลิศลอยปัญญาชัย(Prapon Lertloypanyachai)*

กลุ่มวิจัยแก้วและเทคโนโลยีวัสดุ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ราชบุรี 70150

*Corresponding author. E-mail: prapon_13@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ โดยเถ้าลอยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้มาจากระบวนการผลิตปูนขาวในจังหวัดราชบุรี ซึ่งเถ้าลอยถูกนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นกระเบื้องยางปูพื้น อีกทั้งช่วยกำจัดขยะของเสียที่เหลือจากกระบวนการผลิตปูนขาว จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้าลอย พบว่าร้อยละ 49.19 เป็นแคลเซียมออกไซด์ เมื่อนำเถ้าลอยไปผสมในยางธรรมชาติและทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแผ่นกระเบื้องยางปูพื้น ทำให้ได้แผ่นกระเบื้องยางที่มีสีดำตามสีของเถ้าลอย หลังจากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าโดยรวมแผ่นกระเบื้องยางปูพื้นที่ผสมเถ้าลอยมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับสูตรมาตรฐาน ดังนั้นจากผลการวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าสามารถนำเถ้าลอยที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปูนขาวมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตแผ่นกระเบื้องยางปูพื้นได้ และยังสามารถลดปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากฝุ่นของเถ้าลอย

คำสำคัญ: เถ้าลอย ยางธรรมชาติ สมบัติเชิงกล

Abstract

This research aims to study the influence of fly ash effect on the mechanical properties of natural rubber. The fly ash was used in this research that obtained from the lime production process in Ratchaburi province. Fly ash was used as filler in natural rubber in order to improve the mechanical properties of rubber floor tiles. Furthermore, it also eliminated the waste from the lime production process. The composition of fly ash was found that 49.19% was calcium oxide. When the fly ash mixed in natural rubber and formed into a piece of rubber floor tiles. The rubber

floor tiles had black color because of the black fly ash. After that, the rubber floor tiles mixed fly ash were tested the mechanical properties. It was found that the overall of mechanical properties was similar to standard formula (filled soft clay). Therefore, it was concluded that the fly ash (waste) from lime production process can be used to benefit the rubber floor tile manufacturing industry. Especially, It can also reduce the problem of air pollution from dust of fly ash.

Keywords: Fly ash, Natural rubber, Mechanical properties

บทนำ

ในปัจจุบันราคายางธรรมชาติมีราคาตกต่ำมาก (การยางแห่งประเทศไทย, 2559) ทางทีมผู้วิจัยจึงได้พยายามคิดค้นงานวิจัยที่สามารถกระตุ้นและส่งเสริมการใช้ยางธรรมชาติ โดยที่ยางธรรมชาติสามารถเปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งของเครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะพื้นยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุอุปกรณ์ตกแต่งบ้านที่มีความจำเป็น พื้นยางธรรมชาติมีสมบัติที่โดดเด่นเหนือพื้นกระเบื้อง ได้แก่ ความสวยงาม คงทน และไม่ลื่นเมื่อเปียกน้ำ จึงทำให้พื้นยางธรรมชาติเป็นที่นิยมตกแต่งอาคารบ้านเรือนทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยในงานวิจัยนี้ทางทีมผู้วิจัยได้นำเอาเถ้าลอยที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนขาวในจังหวัดราชบุรี มาเป็นสารเติมแต่ง (filler) ในพื้นกระเบื้องยาง เพื่อเพิ่มสมบัติทางกลของพื้นกระเบื้องยาง เหตุผลที่นำเอาเถ้าลอยมาใช้เป็นสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ เป็นเพราะว่าในพื้นที่จังหวัดราชบุรีอยู่ใกล้บริเวณชายแดนประเทศพม่า โดยมีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาหินปูนจำนวนมาก เพราะฉะนั้นอุตสาหกรรมภายในจังหวัดราชบุรีจึงเกี่ยวข้องกับหินปูนและหินอ่อน และถือเป็นเรื่องสำคัญของจังหวัด โดยเฉพาะการผลิตปูนขาว (lime) ปูนขาวมีบทบาทสำคัญต่อการสร้างสรรค์งานศิลปะ การก่อสร้าง การเกษตรและอื่นๆ

กระบวนการผลิตปูนขาวได้มาจากการเผาวัตถุดิบที่มีแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ประเภทหินปูนหรือหินอ่อน ด้วยเตาเผาช่วงอุณหภูมิระหว่าง 700 - 900 องศาเซลเซียส ซึ่งในพื้นที่จังหวัดราชบุรีนิยมใช้หินและถ่านหินเป็นแหล่งเชื้อเพลิงให้ความร้อน เมื่อเผาหินปูนด้วยเชื้อเพลิงดังกล่าวแล้ว ทำให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียประเภทควัน เชม่า และเถ้าลอยที่มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์อยู่เป็นจำนวนมาก นอกเหนือไปจากการเกิดปูนดิบ (quick lime) โดยเฉพาะซีเมนต์หรือเถ้าลอยที่เหลือจากกระบวนการผลิตปูนขาวนั้น มีปริมาณหลายสิบล้านตันต่อปี ซึ่งทางโรงงานผู้ผลิตปูนขาวนั้นไม่ได้นำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์อันใด จึงทำให้เถ้าลอยกลายเป็นของเสีย (waste) จากกระบวนการผลิตปูนขาวนั่นเอง โดยทั่วไปแล้วเถ้าลอย คือ เถ้าถ่านหินที่ขนาดเล็กประมาณ 1 - 200 ไมครอน และจะลอยขึ้นเหนือเตาไปกับอากาศร้อน เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งจะถูกดักจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต เพื่อไม่ให้หลุดออกไปเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยโรงงานผลิตปูนขาว

จำเป็นต้องใช้ถ่านหินในกระบวนการผลิตปูนขาว จึงทำให้ได้ขยะที่หลงเหลือคือเถ้าลอย และเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเถ้าลอยสามารถนำไปผสมลงในยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลได้ (ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, 2553)

ดังนั้นทางทีมผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาเถ้าลอยที่มีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์เหล่านี้มาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลของแผ่นกระเบื้องยางปูพื้น ซึ่งคาดว่าจะทำให้พื้นกระเบื้องยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์พื้นยางธรรมชาติมีความคงทนมากขึ้น และสามารถกำจัดของเสียที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนขาวในจังหวัดราชบุรี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติของสารตัวเติมระหว่างซอพเคิลและเถ้าลอยที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลในยางธรรมชาติ
2. เพื่อกำจัดเถ้าลอยที่เป็นของเสียที่มาจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนขาว ซึ่งเป็นการช่วยลดมลภาวะที่เป็นพิษทางอากาศ

วิธีดำเนินการวิจัย

การผสมยางคอมพาวด์

งานวิจัยนี้เป็นการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องยางปูพื้นด้วยเทคนิคการใช้เครื่องบดลูกกลิ้งคู่และเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ซึ่งใช้ยางธรรมชาติ (เกรด STR 5L) ผสมกับเถ้าลอยที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนขาว เพื่อเพิ่มสมบัติทางกลให้แก่แผ่นกระเบื้องยางปูพื้น รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเถ้าลอยที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนขาว ส่วนยางดิบนั้นมีสมบัติที่ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องมีการผสมยางดิบกับสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยยางธรรมชาติที่ผ่านการผสมสารเคมีแล้ว ถูกเรียกว่ายางคอมพาวด์ ขั้นตอนต่อไปคือนำยางคอมพาวด์ไปผ่านกระบวนการคงรูป ทำให้อย่างมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ หรือที่เรียกว่า การเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง (Roberts, 1990 และ Indian Rubber Institute, 2000) โดยสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ZnO, Stearic acid, MBTS, TMTD, Paraffin wax, Aromatic oil, 6PPD, Soft clay (SC), Fly ash (FA) และ Sulfur ตารางที่ 1 แสดงปริมาณสารเคมีที่ใช้ผสมในยางธรรมชาติสำหรับงานวิจัยนี้



รูปที่ 1 ลักษณะของเถ้าลอยที่เหลือจากอุตสาหกรรมการผลิตปูนขาว

ตารางที่ 1 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ผสมในยางธรรมชาติ

สารเคมี	ปริมาณ (phr)	
	สูตร 1* SC:FA 100:0	สูตร 2 SC:FA 0:100
Natural rubber	100.00	100.00
ZnO	10.00	10.00
Stearic acid	1.50	1.50
MBTS	1.00	1.00
TMTD	0.10	0.10
Paraffin wax	2.00	2.00
Aromatic oil	1.00	1.00
6PPD	1.00	1.00
Soft clay (SC)	250.00	-
Fly ash (FA)	-	250.00
Sulfur	4.00	4.00

*สูตรมาตรฐาน Shore hardness ประมาณ 80 Shore A

ซอฟต์แวร์ คือ แคลคูลูมคาร์บอนเต เกรดการค้ำ

สูตรมาตรฐานเป็นสูตรทางการค้าที่ได้จากโรงงานที่ร่วมมือทำวิจัย

การหองค์ประกอบทางเคมีและกายภาพของอนุภาคผงหิน

ในการตรวจสอบส่วนผสมของเถ้าลอยใช้เครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDX) ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น โดยนำเถ้าลอยมาอัดให้เป็นก้อนแล้วทำ

การตรวจสอบวิเคราะห์เพื่อหาส่วนผสมทางเคมี และในส่วนของ การวิเคราะห์หาโครงสร้างผลึกของ แก้วลอย ใช้เครื่อง X-ray diffraction (XRD) รุ่น XRD-6100 ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น โดยใช้แหล่งกำเนิดรังสีเป็น $\text{Cu-K}\alpha$ ใช้ช่องสลิต (Receiving slit) ที่มีขนาดความกว้าง 0.30 มิลลิเมตร และทำการตรวจสอบที่ช่วง 10 ถึง 80 องศา ด้วยความเร็ว (Scan speed) 2 วินาทีต่อการเปลี่ยน ตำแหน่งองศาในการวัด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงองศาในการวัด 1 ครั้งจะเปลี่ยนไป 0.05 องศา ใช้ความ ต่างศักย์ 60 กิโลโวลต์ กระแส 80 มิลลิแอมแปร์ การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของแก้วลอยใช้กล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยใช้ความต่างศักย์ 20 กิโลโวลต์ รับสัญญาณแบบ Secondary electron

การทดสอบสมบัติเชิงกล

นำยางคอมพาวด์ไปอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำ ขึ้นงานไปทดสอบสมบัติเชิงกล ตามมาตรฐาน ASTM F1344-15 สมบัติเชิงกลที่ทำการทดสอบ ได้แก่ ค่าความแข็ง (Shore A hardness) ค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) ค่าระยะยืด ณ จุด ขาด (Elongation at break) ค่ามอดูลัส (Modulus) และค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength)

ผลการวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะทางกายภาพของแก้วลอย

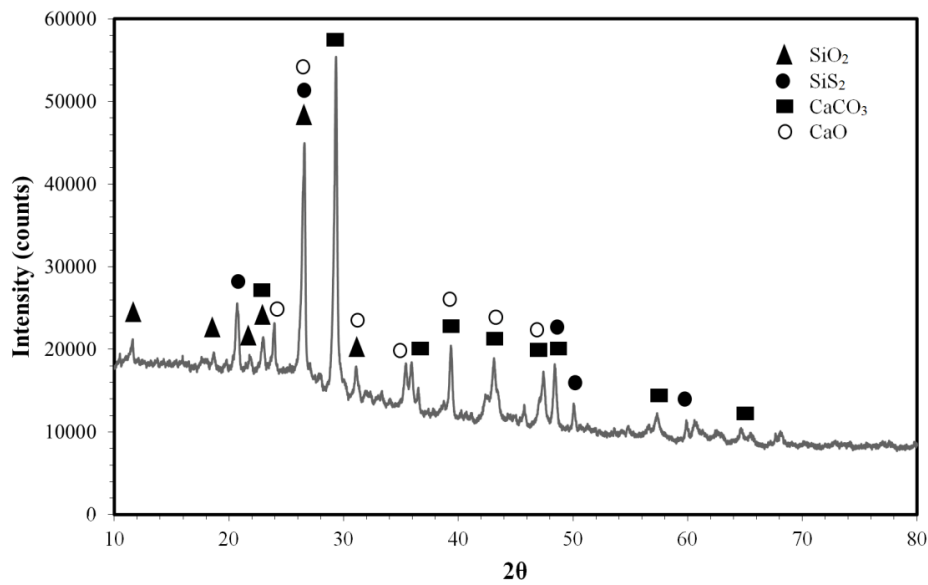
จากการวิเคราะห์แก้วลอยด้วยเทคนิคเครื่อง Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer (EDX) เครื่องการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM) โดยเมื่อนำแก้วลอยไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วย EDX พบว่าในแก้วลอย ประกอบด้วยสารประกอบต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 2 ซึ่งมีแคลเซียมออกไซด์มากที่สุดถึงร้อยละ 49.197 ขององค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด รองลงมาคือโอโรนออกไซด์ มีปริมาณร้อยละ 21.052 และ ซิลิกอนไดออกไซด์ มีปริมาณร้อยละ 18.627 โดยทั่วไปแล้วงานทางด้านยางธรรมชาติใช้แคลเซียม ออกไซด์เพื่อเพิ่มเนื้อวัสดุและเสริมแรง และส่วนของซิลิกอนไดออกไซด์ช่วยในการเสริมแรง ทำให้ ขึ้นงานมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น (Indian Rubber Institute, 2000)

รูปที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแก้วลอยด้วยเทคนิค XRD เมื่อนำแก้วลอยไป วิเคราะห์หาโครงสร้างของผลึกด้วยเทคนิค XRD พบว่าโครงสร้างผลึกของแก้วลอยประกอบด้วย โครงสร้างผลึกของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือปูนขาว ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และซิลิกอนไดซัลไฟด์ (SiS_2) โดยที่เฟสของแคลเซียมออกไซด์และ แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นเฟสหลักของแก้วลอย

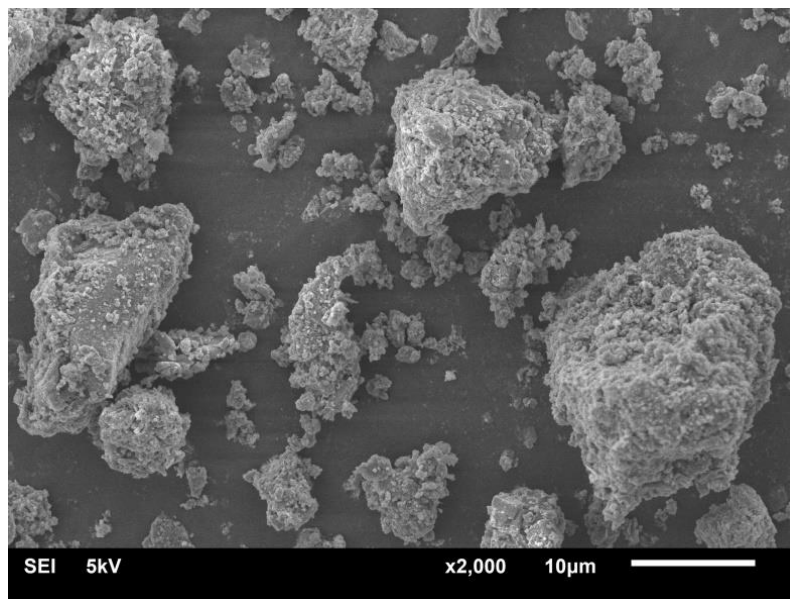
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยโดยเทคนิค EDX

Compound	Concentration
SiO ₂	18.627%
SO ₃	6.064%
K ₂ O	1.834%
CaO	49.197%
TiO ₂	0.731%
MnO	0.381%
Fe ₂ O ₃	21.052%
NiO	0.013
CuO	0.016
SrO	0.242
PbO	0.007
ClO	1.835

โดยในงานวิจัยนี้แคลเซียมออกไซด์และแคลเซียมคาร์บอเนตทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมเพื่อเพิ่มเนื้อสารในผลิตภัณฑ์ยางและช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลที่จำเป็นต่อผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางปูพื้น (John, 2001) ส่วนโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นโครงสร้างผลึกที่มีความแข็งแกร่งทำหน้าที่ช่วยในการเสริมแรงให้กับชิ้นงาน (Rattanasoma, 2007) จากนั้นนำเถ้าลอยไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพเพื่อดูรูปร่างของเถ้าลอยด้วยเทคนิค SEM ในรูปที่ 3 แสดงลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่ารูปร่างของเถ้าลอยมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน (Irregular shape) และเป็นเหลี่ยมมุม ซึ่งลักษณะที่เป็นเหลี่ยมมนนั้นช่วยในการยึดเกาะระหว่างเถ้าลอยกับยางธรรมชาติได้ดี (Randall, 1997) และมีขนาดของอนุภาคโดยเฉลี่ยที่ 10-20 ไมครอน



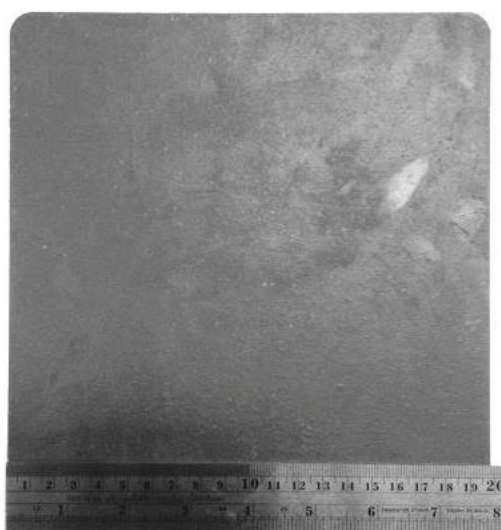
รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเถ้าลอยด้วยเทคนิค XRD



รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM

อิทธิพลของสารตัวเติมที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นกระเบื้องยางปูพื้น

เมื่อนำยางคอมพาวด์ไปอัดขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน โดยใช้อุณหภูมิที่ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ได้ชิ้นงานแผ่นกระเบื้องยางสีดำดังที่แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลระหว่างแผ่นกระเบื้องยางที่ผสมสารตัวเติมเป็นซอฟคลีย์ (soft clay) ซึ่งเป็นสูตรมาตรฐาน และแผ่นกระเบื้องยางที่ผสมเถ้าลอย



รูปที่ 4 แผ่นกระเบื้องยางปูพื้นผสมเถ้าลอย

ในตารางที่ 3 แสดงค่าสมบัติเชิงกลของพื้นกระเบื้องยางเปรียบเทียบระหว่างสูตรมาตรฐาน และสูตรที่ผสมเถ้าลอย จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าสูตรมาตรฐานมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ย 85.50 ± 1.07 (Shore A) และสูตรที่ผสมเถ้าลอยมีค่าความแข็งโดยเฉลี่ย 89.88 ± 1.13 (Shore A) ซึ่งชิ้นงานที่ผสมเถ้าลอยมีความแข็งที่สูงกว่าสูตรมาตรฐาน นั้นเป็นเพราะในเถ้าลอยมีปริมาณของซิลิกาที่มากนั่นเอง จึงช่วยเสริมแรงทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น (Tangudom, 2014) และเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน (ASTM F1344-15) ค่าความแข็งของชิ้นงานผสมเถ้าลอยอยู่ในระดับเกรดหนึ่ง จากนั้นนำชิ้นงานไปทดสอบค่าความทนต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และมอดูลัสที่ระยะยืด 90% พบว่าสูตรที่ผสมเถ้าลอยมีค่า

ความทนต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัส ต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน สาเหตุอาจเป็นเพราะจากการยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติและอนุภาคเถ้าลอยที่ใช้ทดแทนซอโฟลล์มากเกินไป จึงทำให้การยึดเกาะระหว่างเนื้อเมทริกซ์และอนุภาคเถ้าลอยแย่ง ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลที่ลดลงด้วย (Kanking, 2012) อีกทั้งอาจมาจากปริมาณร้อยละของซิลิกาที่อยู่ในเถ้าลอยมีมาก เมื่อผสมลงในเนื้อเมทริกซ์จึงทำให้ชิ้นงานไม่ยึดหยุ่นหรือมีความกระด้างเพิ่มขึ้น (Kanking, 2012 และ John, 2001) จึงทำให้ค่าการทนต่อแรงดึงและระยะยืด ณ จุดขาดลดลง และส่งผลทำให้ค่าโมดูลัสของชิ้นงานลดลงเมื่อเทียบกับสูตรมาตรฐาน

สุดท้ายนำชิ้นงานไปทดสอบค่าความทนต่อการฉีกขาด พบว่าสูตรมาตรฐานมีค่าการทนต่อการฉีกขาดดีกว่าสูตรยางที่ผสมเถ้าลอย สาเหตุเป็นเพราะปริมาณของเถ้าลอยที่มีส่วนผสมของซิลิกามากเกินไปจึงทำให้วัสดุมีความแข็งแต่เปราะ จึงทำให้ชิ้นงานฉีกขาดได้ง่าย ดังนั้นค่าความทนต่อการฉีกขาดเลวต่ำ

ตารางที่ 3 ค่าสมบัติเชิงกลของพื้นกระเบื้องยางเปรียบเทียบระหว่างสูตรมาตรฐานและสูตรผสมเถ้าลอย

สมบัติเชิงกล	สูตรที่ 1 สูตรมาตรฐานผสม Soft clay	สูตรที่ 2 ผสมเถ้าลอย
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	4.55±0.12	3.26±0.22
ระยะยืด ณ จุดขาด (%)	158.91±11.61	96.00±4.96
โมดูลัส ที่ระยะยืด 90 % (MPa)	4.04±0.06	3.17±0.15
ความแข็ง (Shore A)	85.50±1.07	89.88±1.13
ความทนต่อการฉีกขาด (N/mm)	26.31±0.99	14.08±0.47

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์อนุภาคของเถ้าลอยด้วยเทคนิค EDX พบว่าอนุภาคของเถ้าลอยประกอบด้วยแคลเซียมออกไซด์มากที่สุดถึงร้อยละ 49.197 ขององค์ประกอบทางเคมีทั้งหมด รองลงมาคือโอโรนออกไซด์ มีปริมาณร้อยละ 21.052 ซิลิกอนไดออกไซด์ มีปริมาณร้อยละ 18.627 และธาตุชนิดอื่นๆ อีกเล็กน้อย เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบโครงสร้างของผลึกที่อยู่ในรูปของแคลเซียมและซิลิกอน จากนั้นนำอนุภาคผงไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้วยเทคนิค SEM พบว่าอนุภาคเถ้าลอยมีรูปร่างที่ไม่แน่นอนและเป็นเหลี่ยมมุม ส่วนที่เป็นเหลี่ยมมนนั้นช่วยยึดเกาะกับเนื้อยางได้ดี ทำให้อนุภาคเถ้าลอยฝังตัวแน่นในเนื้อยาง

เมื่อพิจารณาสมบัติเชิงกลระหว่างสูตรยางมาตรฐานที่ใส่ซอพเพิ้ลและสูตรยางที่ผสมเถ้าลอย พบว่าค่าความแข็งของสูตรยางที่ผสมเถ้าลอยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานระดับดีมากหรือเกรดหนึ่ง ส่วนค่าความทนต่อแรงดึง ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ค่าโมดูลัส และค่าความทนต่อการฉีกขาดมีค่าต่ำกว่าสูตรมาตรฐาน ซึ่งสาเหตุที่ทำให้สมบัติเชิงกลของสูตรยางที่ผสมเถ้าลอยมีค่าลดลงนั้น อาจเนื่องมาจากส่วนผสมที่ใส่เถ้าลอยมากเกินไป ทำให้การยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติและอนุภาคของเถ้าลอยยึดเกาะกันไม่ได้จึงทำให้สมบัติเชิงกลลดลง และอีกสาเหตุหนึ่งอาจมาจากปริมาณของซิลิกาที่อยู่ในเถ้าลอยที่มีปริมาณมาก เมื่อผสมลงในเนื้อยางจึงทำให้วัสดุมีความแข็งแต่เปราะ จึงส่งผลต่อการฉีกขาดของชิ้นงาน

จากผลการวิจัยเบื้องต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถนำอนุภาคเถ้าลอยที่เป็นวัสดุเศษเหลือจากกระบวนการผลิตปูนขาวในจังหวัดราชบุรีมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติได้ โดยผสมลงใน

อัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งเท่ากับเป็นการช่วยลดมลภาวะที่เป็นพิษทางอากาศและเป็นการนำวัสดุที่ไร้ประโยชน์มาใช้ให้เกิดประโยชน์

ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองขั้นต่อไปอาจผสมเส้นใยธรรมชาติลงไปในสูตรยาง เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับชิ้นงาน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติเชิงกลในการทนต่อแรงดึง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสำนักงานงบประมาณ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง ภายใต้รหัสโครงการ 709247 ขอขอบคุณสำหรับความอนุเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง และเครื่องมือทดสอบสมบัติเชิงกลของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

เอกสารอ้างอิง

การยางแห่งประเทศไทย, 2559, [online], Available:

<http://www.rubber.co.th/rubber2012/menu5.php> [1 พฤษภาคม 2561].

ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, 2553, การใช้ประโยชน์จากอนุภาคเถ้าลอย เพื่อทำหน้าที่เป็นสารลดต้นทุน สำหรับผลิตภัณฑ์พอลิเอทิลีนที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการแม่พิมพ์หมุนเหวี่ยง โดยปรับปรุงสถานะการเตรียมวัสดุผสม, วารสารวิจัยและนวัตกรรมเพื่ออุตสาหกรรมไทย ปีที่ 1 ฉบับที่ 1

ASTM international, ASTM F1344 - 15 Standard Specification for Rubber Floor Tile, 2017.

Indian Rubber Institute. (2000). **Rubber engineering**. New York : Tata McGraw-Hill.

John S. Dick. (2001). **Rubber technology : compounding and testing for performance**. Cincinnati : Hanser.

Kanking, S., Niltui, P., Wimolmala, E., and Sombatsompop, N., (2012). **Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica or carbon black filled natural rubber compound**. Materials and Design. Vol. 41, pp. 74–82.

- Randall, M. German. (1997). 2nd ed. **Powder metallurgy science**. Prenceton NJ : Princeton.
- Rattanasoma, N., Saowapark, T., Deeprasertkul, C., (2007). **Reinforcement of natural rubber with silica/carbon black hybrid filler**. Polymer Testing. Vol. 26, pp. 369–377.
- Roberts, A.D. (1990). **Natural rubber science and technology**. Oxford University Press.
- Tangudom, P., Thongsang, S., and Sombatsompop, N., (2014). **Cure and mechanical properties and abrasive wear behavior of natural rubber, styrene–butadiene rubber and their blends reinforced with silica hybrid fillers**. Materials & Design. Vol. 53, pp. 856-864.

การศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วย

ในช่วงความถี่ 1.5 ถึง 5.5 กิกะเฮิรตซ์

The Study of Dielectric Properties of Cup Lump Rubber at 1.5 to 5.5 GHz

พรพิมล ฉายแสง(Pornpimon Chaisaeng)* ประพันธ์ ลิ้มกุล(Prapan Leekul)

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

*Corresponding author. E-mail: pornpimon.c@rbru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยในช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 1.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ยางก้อนถ้วยที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือยางอายุ 1 วัน และ 7 วัน ยางก้อนถ้วยแต่ละกลุ่มมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางต่างกันตามอายุของการเก็บ การศึกษาประกอบด้วย การวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วย ข้อมูลที่ได้จากการวัดยางก้อนถ้วยทั้ง 2 กลุ่ม ถูกนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาความแตกต่างของคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ผลการเปรียบเทียบคือ ยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงกว่ายางก้อนถ้วยอายุ 7 วัน และเมื่อเฉลี่ยข้อมูลการวัดตลอดช่วงความถี่ค่าที่ได้ต่างกัน 23.75 และช่วงความถี่ที่แตกต่างกันชัดเจนที่สุดคือ 4.77 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.39 กิกะเฮิรตซ์ แตกต่างกันเฉลี่ยทั้งช่วงอยู่ที่ 74.29% ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก ของยางก้อนถ้วยมีความแตกต่างกันเฉลี่ยอยู่ที่ 9.93 และช่วงความถี่ที่แตกต่างกันชัดเจนที่สุดคือ 5.01 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.37 กิกะเฮิรตซ์ มีความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 78.86% ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริก สามารถนำมาใช้ในการคัดแยกเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งของยางก้อนถ้วยได้

คำสำคัญ: ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก ยางก้อนถ้วย

Abstract

This paper presents the study of dielectric properties of cup lump rubber in the frequency range of 1.5 GHz to 5.5 GHz. The cup lump rubbers under test were divided into 2 groups: 1 date group and 7 date group after post-harvest. The difference of two groups of cup lump rubber is the percentage of latex based on date of harvesting. In the study, the dielectric constant and the dielectric loss factor of each group were measured and compared. The results showed that the dielectric

constant of cup lump rubber of the first group was higher than of the latter group, while the difference of the averaged dielectric constant entire the frequency range between two groups was 23.75. The most obviously seen difference was in the frequency range of 4.77 GHz to 5.39 GHz that provided the averaged difference of the dielectric constant equal 74.29%. For the case of dielectric loss factor, the difference of theirs averaged results was 9.93. The most obviously seen difference of the dielectric loss factor was in the frequency range of 5.01 GHz to 5.37 GHz with the averaged difference of 78.86%. Consequently, it shows that the dielectric properties can be used to classify the dry rubber content of the cup lump rubber.

Keywords: Dielectric constant, Dielectric loss factor, Cup lump rubber

บทนำ

ยางพาราเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศ มีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับ 1 และมีอัตราการขยายตัวถึงร้อยละ 13.7 ในปี 2560 มูลค่าการส่งออกยางพารามีมูลค่า 204,837.65 ล้านบาท (สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์, 2561) ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราเป็นอันดับ 2 ของโลก โดยพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทยมีอยู่ในทุกภูมิภาคของประเทศ จากการสำรวจในปี 2559 พบว่าพื้นที่ปลูกยางพารามากที่สุดได้แก่ ภาคใต้ มีพื้นที่ปลูกทั้งสิ้น 14.6 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2560) ผลผลิตจากยางพาราที่เกษตรกรนำมาขายมีหลายรูปแบบ เช่น น้ำยางสด ยางแผ่น และยางก้อนถ้วย กระบวนการรับซื้อยางพาราจากชาวสวนปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณราคายางพาราทุกชนิดคือ ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งหรือค่า DRC (Dry rubber content) เป็นค่าที่บอกปริมาณของเนื้อยางพาราไม่รวมน้ำและสิ่งเจือปนอื่นๆ ดังนั้นการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางอย่างแม่นยำจึงเป็นสิ่งสำคัญ วิธีการตรวจวัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยางที่แม่นยำยังคงต้องใช้ห้องปฏิบัติการและเครื่องมือที่มีราคาสูง รวมถึงใช้เวลานานในการทดสอบ (ระบบจัดการความรู้ การยางแห่งประเทศไทย, 2555) ทำให้ผู้ประกอบการรับซื้อยางพาราย่อยใช้การคาดคะเนจากประสบการณ์ ประกอบกับชาวสวนยางพาราไม่มีเครื่องมือที่ใช้วัด ทำให้กระบวนการรับซื้อยางพาราขาดมาตรฐาน เป็นช่องทางให้เกิดการเอาเปรียบจากผู้ประกอบการ และเกิดข้อพิพาท เช่น เหตุการณ์เมื่อปี 2558 ชาวสวนยางบุรีรัมย์เรียกร้องวิธีตรวจสอบหักความชื้นยางก้อนถ้วยที่ไม่มีมาตรฐาน ใช้การสังเกตด้วยการจับดูเท่านั้น และหักเปอร์เซ็นต์น้ำสูง 9-12 เปอร์เซ็นต์ (ผู้จัดการออนไลน์, 8 ตุลาคม 2558)

นักวิจัยได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางไว้หลากหลาย เช่น ในปี 2005 Jayanthi และ Sankaranarayanan ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติไดอิเล็กตริกและเปอร์เซ็นต์เนื้อยางของน้ำยางสด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของน้ำยาง

เพิ่มขึ้นเมื่อเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลลดลง (Jayanthi & Sankaranarayanan, 2005) การทดลองเป็นการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ยานความถี่เดียวกัน ต่อมาในปี 2012 Julrat และคณะได้พัฒนาเครื่องตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลสดด้วยเครื่องวัดการสะท้อนแบบ 6 พอร์ต ทำงานที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิรตซ์ โดยศึกษาค่าสภาพยอมไฟฟ้าของน้ำยางที่มีเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลตั้งแต่ 28% - 61% เพื่อนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงในการตัดสินใจวัดค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลสด ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Julrat et al., 2012) วิธีการนี้ยังมีความซับซ้อน และการใช้ความถี่เพียงความถี่เดียวข้อมูลที่ได้อาจไม่เพียงพอให้เกิดความแม่นยำในการนำไปใช้งานจริง ต่อมาปี 2013 หรือ 2556 ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และคณะได้สร้างเครื่องต้นแบบสำหรับวัดเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลในน้ำยางสด ด้วยหลักการของค่าความถ่วงจำเพาะ เปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลที่มีค่าผกผันเชิงเส้นตรงกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำยาง โดยเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลนี้ใช้การวัดน้ำยางตัวอย่างที่อยู่ในหลอดแก้วจำกัดปริมาตรขนาด 16 x 100 มิลลิเมตร วัดน้ำหนักของน้ำยางตัวอย่างด้วยโหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักจุดเดียวขนาด 1 กิโลกรัม แล้วนำสัญญาณที่ได้จากการวัดมาประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลด้วยจอ LCD การวัดน้ำยางด้วยหลักการนี้มีความสัมพันธ์ผกผันเชิงเส้นตรงมีค่า $R^2=0.93$ (ปรีดาวรรณ ไชยศรีชลธาร และคณะ, 2556) การวัดด้วยเทคนิคนี้มีขั้นตอนค่อนข้างมาก และยังไม่เหมาะสมในกระบวนการรับซื้อจริง และในปี 2015 Suchat และคณะ ได้ศึกษาการใช้เทคนิค NIR (Near infrared spectroscopy) เพื่อวัดค่าความชื้นในยางก้อนถ้วย (Suchat et al., 2015) แม้วิธีการนี้ให้ความแม่นยำสูงและเป็นการวัดแบบไม่ทำลาย แต่ราคามีราคาค่อนข้างสูง และในขณะวัดต้องป้องกันแสงรบกวนจากภายนอกเป็นอย่างดี

การวิจัยเพื่อหาเทคนิคการวัดค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อหาน้ำตาลส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่น้ำยางสด แต่ในส่วนของการยางก้อนถ้วยยังมีการวิจัยน้อย ดังนั้นบทความนี้จึงศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยในช่วงความถี่ 1.5 ถึง 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ของยางก้อนถ้วยที่มีความชื้นแตกต่างกัน 2 ระดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ความถี่ และความชื้นของยางก้อนถ้วย เพื่อหาแนวทางการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับจำแนกความชื้นในยางก้อนถ้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยในย่านความถี่ 1.5 ถึง 5.5 กิกะเฮิรตซ์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. คุณสมบัติไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติไดอิเล็กตริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าประเภทหนึ่งของวัสดุ แบ่งออกเป็นค่าสภาพยอมไฟฟ้า (Permittivity: ϵ) และค่าความซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability: μ) การดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุมีความสัมพันธ์กับค่าสภาพยอมไฟฟ้าเชิงซ้อน (ϵ^*) ของวัสดุนั้นดังสมการที่ (1) (Keysight, 2017)

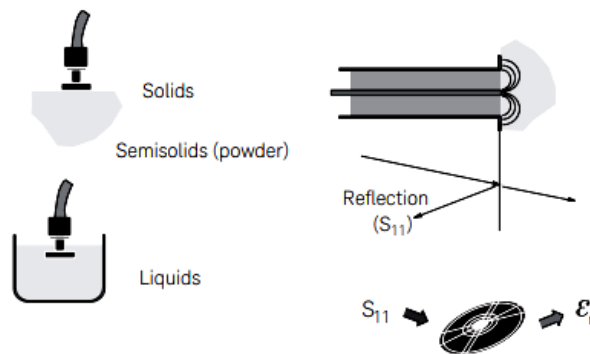
$$\epsilon^* = \epsilon_0(\epsilon_r' - i\epsilon_r'') \quad (1)$$

เมื่อ ϵ_0 คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ ($\epsilon_0 = 8.86 \times 10^{-12}$ F/m) ϵ_r' คือค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant) เป็นปริมาณที่แสดงถึงความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานสนามไฟฟ้า และ ϵ_r'' ตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) เป็นปริมาณที่แสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเดินทางผ่านวัสดุที่มีคุณสมบัติไดอิเล็กตริกแตกต่างกัน จึงเกิดการลดทอนหรือการดูดซับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่เท่ากัน ค่าสภาพยอมไฟฟ้าเชิงซ้อนในสามารถอธิบายด้วยฟังก์ชันของความถี่ได้ดังสมการของเดอบาย (Debye equation) ในสมการที่ (2)

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + j\omega\tau} \quad (2)$$

โดย ϵ_s หมายถึงค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่เป็นศูนย์ (DC) ϵ_∞ คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ความถี่สูงมาก ω คือ ความถี่เชิงมุม τ คือเวลาในการผ่อนคลายของวัสดุ (Relaxation time) คุณสมบัติไดอิเล็กตริกมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ที่ใช้วัด วิธีการสำหรับวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกแบ่งออกเป็น 5 วิธี (Keysight, 2017) ซึ่งวิธีมีความเหมาะสมกับวัสดุที่จะนำมาวัดแตกต่างกัน ดังนี้

1. การวัดโดยใช้โพรบโคแอกเซียล (Coaxial probe) สามารถวัดได้ในช่วงความถี่กว้าง วิธีการวัดง่ายและสะดวก ไม่ทำลายวัสดุที่นำมาวัด เหมาะกับวัสดุที่มีการสูญเสีย (Lossy material) ซึ่งไม่เป็นวัสดุแม่เหล็ก เช่น ทองเหลือง หรือกึ่งของแข็ง กระบวนการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกโดยใช้โพรบโคแอกเซียลแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกด้วยโพรบโคแอกเซียล

ที่มา: Keysight, 2017

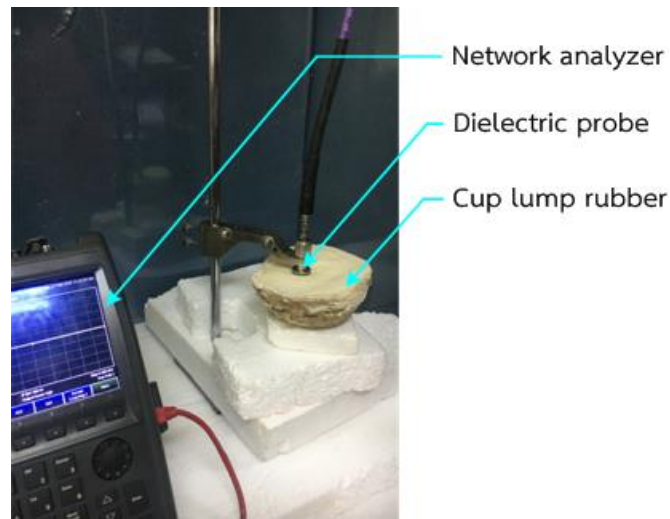
2. การวัดโดยใช้สายส่ง (Transmission line) สามารถวัดได้ในช่วงความถี่กว้าง เหมาะกับวัสดุที่มีการสูญเสียที่มีลักษณะเป็นของแข็ง
3. การวัดแบบอวกาศว่าง (Free space) สามารถวัดได้ในช่วงความถี่กว้าง เป็นการวัดแบบไม่ต้องสัมผัสกับวัสดุที่นำมาวัด เหมาะสำหรับวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ เป็นผง หรือมีความร้อนสูง
4. การวัดโดยใช้ควิตี้ (Resonant cavity) วัดได้ที่ความถี่เดียว มีความแม่นยำสูง เหมาะสำหรับวัสดุที่มีการสูญเสียต่ำ และมีขนาดเล็ก
5. การวัดแบบแผ่นขนาน (Parallel plate) มีความแม่นยำสูงเหมาะกับการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่ความถี่ต่ำ วัสดุที่นำมาวัดต้องเป็นแผ่นบาง และเรียบ

บทความนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเฉพาะส่วนของค่าสภาพยอมไฟฟ้า ได้แก่ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก โดยใช้วิธีการวัดแบบโพรบโคแอกเซียล เนื่องจากไม่ทำลายวัสดุที่นำมาวัดและสามารถใช้วัดวัสดุทั้งของแข็งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ขั้นตอนการทดสอบ

เริ่มจากการเตรียมตัวอย่างอย่างกึ่งสุกที่นำมาใช้สำหรับการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกอย่างกึ่งสุกที่นำมาทดสอบแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 คือ ยางกึ่งสุกแบบสดหรือยางกึ่งสุกที่ได้จากการกรีดใหม่และเก็บไว้ไม่เกิน 1 วัน และกลุ่มที่ 2 คือ ยางกึ่งสุกแบบที่สามารถจำหน่ายหรือขายได้และมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางสูงเป็นยางกึ่งสุกที่ถูกเก็บไว้นานประมาณ 7 วัน หลังการกรีด ดังนั้นยางกึ่งสุกที่นำมาทดสอบจึงมีค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแตกต่างกัน 2 ระดับ คือยางกึ่งสุกที่เก็บมาแล้วทั้ง 1 วัน และทั้ง 7 วัน ยางกึ่งสุกที่เก็บมาใหม่เป็นยางที่มีปริมาณน้ำในกึ่งสุกมาก เมื่อนำมาวางทิ้งไว้ยางกึ่งสุกจะคายน้ำออกมา ทำให้กึ่งสุกมีปริมาณค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางสูงขึ้น ยางกึ่งสุกทั้ง 2 ตัวอย่างได้รับการนำมาทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริก ด้วยโพรบไดอิเล็กตริก

(Dielectric probe) และเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (Network analyzer) โดยก่อนการทดสอบ คุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วย เครื่องมือวัดต้องได้รับการสอบเทียบ (Calibration) ทุกครั้ง การสอบเทียบเครื่องมือวัดคุณสมบัติไดอิเล็กตริกมีทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ 1 วัดอากาศว่าง 2 วัดแบบ ปิดวงจร 3 วัดน้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



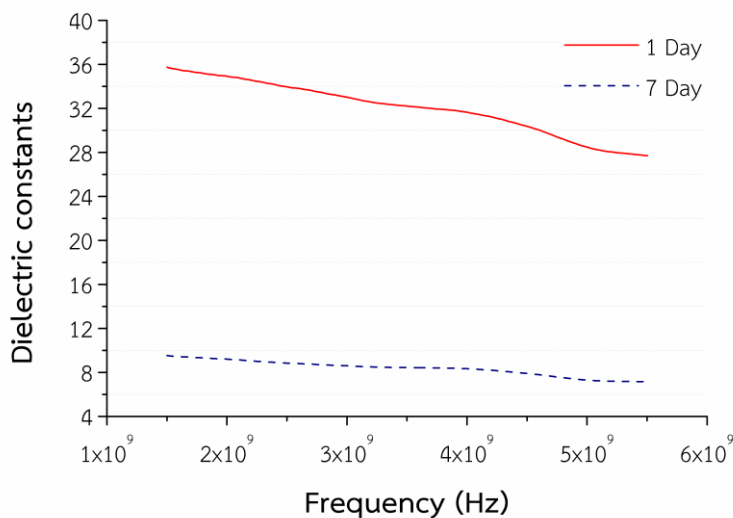
ภาพ 2 การทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วย

โดยทำในช่วงความถี่ที่ใช้งาน จากนั้นจึงทำการทดสอบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วย ในช่วงความถี่ 1.5 ถึง 5.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ทดสอบยางก้อนถ้วยตัวอย่างด้วยการนำโพรบไดอิเล็กตริกสัมผัสกับเนื้อยางแล้วจึงทำการวัดคุณสมบัติ จากนั้นข้อมูลที่ได้จากโพรบไดอิเล็กตริกถูกส่งต่อไปยังเครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อประมวลผลข้อมูลในช่วงความถี่ที่ต้องการวัดและส่งต่อข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผล การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดสอบแสดงดังภาพ 2

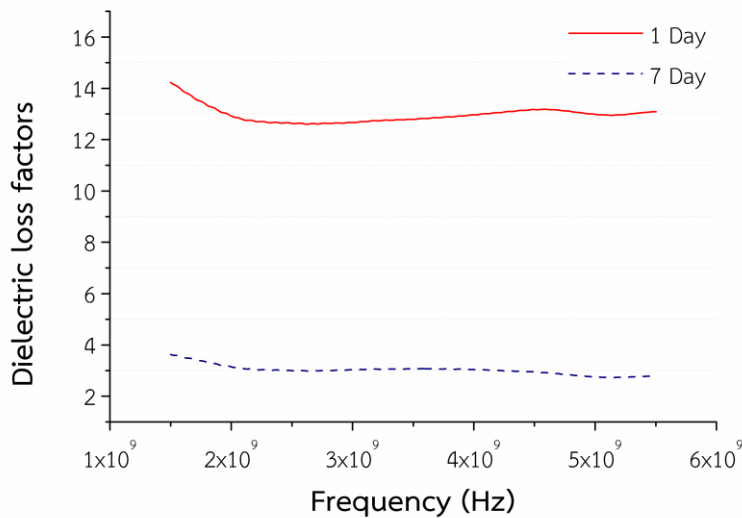
การวัดยางก้อนถ้วยของแต่ละตัวอย่างถูกวัดทั้งหมด 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้ผลการวัดถูกต้องมากที่สุด จากผลการทดสอบที่ได้ ข้อมูลถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในก้อนถ้วย ทั้ง 2 ระดับ โดยได้เปรียบเทียบในช่วงความถี่กว้าง เพื่อวิเคราะห์หาช่วงความถี่ที่เหมาะสม สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัย

ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยด้วยเครื่องมือวัดแบ่งออกเป็น 2 ตัวอย่าง คือ ยางก้อนถ้วยที่มีอายุ 1 วัน และ 7 วัน โดยวัดในช่วงความถี่กว้างในช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 1.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.5 กิกะเฮิรตซ์ วัดที่ขณะอุณหภูมิอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ผลการวัดคือเมื่อความถี่สูงขึ้น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อสังเกตค่าที่ได้จากการวัดยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน เห็นได้ว่าสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า (Julrat et al., 2014) ซึ่งเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้ลดลงอย่างต่อเนื่อง ความถี่เริ่มต้นในการทดสอบคือ 1.5 กิกะเฮิรตซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกอยู่ที่ 35.74 และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงในช่วงความถี่ 3.14 กิกะเฮิรตซ์ และในช่วงความถี่ 3.15 ถึง 4.17 กิกะเฮิรตซ์ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ลดลงเล็กน้อย เฉลี่ยอยู่ที่ 32.05 และลดลงอย่างต่อเนื่องอีกครั้ง เมื่อความถี่เพิ่มขึ้นมากกว่า 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ต่อมาคือค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ได้จากการวัดยางก้อนถ้วยอายุ 7 วัน แนวโน้มของข้อมูลที่วัดได้ อยู่ลักษณะเดียวกับยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน แต่การเปลี่ยนแปลงมีน้อยกว่า ความแตกต่างของค่าที่วัดได้โดยเฉลี่ยตลอดช่วงความถี่ คือ 23.76 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยทั้ง 2 กลุ่ม แสดงดังในภาพ 3



ภาพ 3 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยวันที่ 1 และวันที่ 7



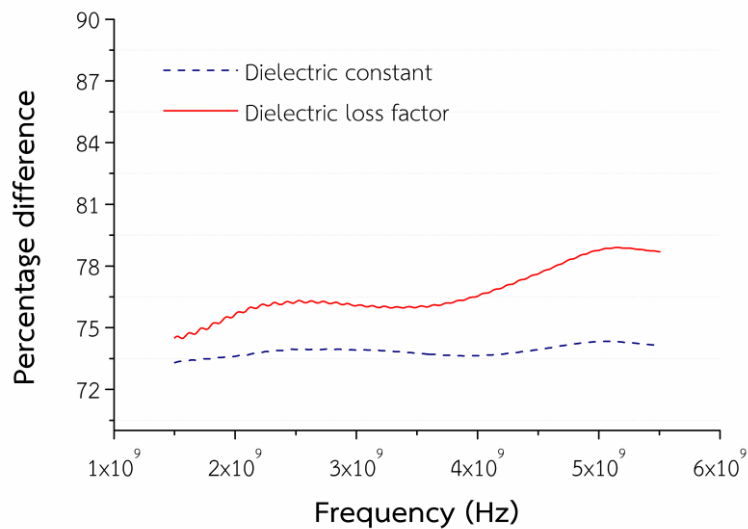
ภาพ 4 ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยวันที่ 1 และวันที่ 7

การตรวจสอบค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยที่อายุ 1 วัน และ 7 วัน จากการวัดและวิเคราะห์เห็นได้ว่า ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกที่ได้จากยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกลดลงอย่างต่อเนื่องในช่วงความถี่ 1.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 2 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 2.09 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.53 กิกะเฮิรตซ์ ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 12.67 และเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นมาอยู่ในช่วง 4.33 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.8 กิกะเฮิรตซ์ ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกได้เพิ่มขึ้นจากเดิม เฉลี่ยอยู่ที่ 13.16 เมื่อความถี่มากกว่า 4.8 กิกะเฮิรตซ์ และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกที่ได้ มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเล็กน้อย ต่อมาคือการวัดค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกของยางก้อนถ้วยอายุ 7 วัน การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ได้จากการวัด แสดงให้เห็นว่าข้อมูลอยู่ลักษณะคล้ายกับยางก้อนอายุ 1 วัน การเปลี่ยนแปลงน้อยกว่ายางก้อนอายุ 1 วัน ซึ่งสามารถเฉลี่ยได้ดังนี้คือ ในช่วงความถี่ 2.2 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.15 กิกะเฮิรตซ์ ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกอยู่ที่ 3.1 และลดลงเล็กน้อยเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพ 4

ข้อมูลที่ได้จากการวัดยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน และ 7 วัน ประกอบด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กตริก และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก ข้อมูลดังกล่าวถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้น โดยหาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน กับยางก้อนถ้วยอายุ 7 วัน ดังสมการที่ 3

$$\% \text{ การเปลี่ยนแปลง} = \left(\frac{1\text{Day}-7\text{Day}}{1\text{Day}} \right) \times 100\% \quad (3)$$

เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกจากยางก้อนถ้วยที่อายุ 1 วันและ 7 วัน สามารถสังเกตได้จากช่วงความถี่ 2.41 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 3.01 กิกะเฮิรตซ์ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 73.95% และในช่วงความถี่ 3.68 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 4.12 กิกะเฮิรตซ์ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกลดลงเล็กน้อยอยู่ที่ 73.64 จากนั้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นมากกว่า 4.5 กิกะเฮิรตซ์ ความแตกต่างของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากช่วงความถี่ก่อนหน้านี้



ภาพ 5 เปรียบเทียบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก

ในช่วงความถี่ที่มีความแตกต่างมากที่สุดคือตั้งแต่ 4.77 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.39 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งแตกต่างกันถึง 74.29% และต่อมาคือการพิจารณาค่าความแตกต่างของตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริก ที่วัดได้จากยางก้อนถ้วยอายุ 1 วัน เทียบกับยางก้อนถ้วยอายุ 7 วัน ข้อมูลที่ได้ให้ความชัดเจนในการเลือกช่วงความถี่ใช้งานมากกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งสังเกตได้จากในช่วงความถี่ 2.21 ถึง 2.96 กิกะเฮิรตซ์ ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของของตัวประกอบการสูญเสียอยู่ที่ 76.21% และเมื่อความถี่เพิ่มมากขึ้นอยู่ในช่วง 5.01 ถึง 5.37 กิกะเฮิรตซ์ ค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเฉลี่ยอยู่ที่ 78.86% เมื่อพิจารณาที่ความถี่สูงกว่า 5.37 กิกะเฮิรตซ์ เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าตัวประกอบการสูญเสียไดอิเล็กตริกลดลงเล็กน้อย แสดงดังภาพ 5

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาคุณสมบัติไดโอดีเล็กทรอนิกส์ของยางก้อนถ้วย แบ่งออกเป็นการวัดค่าคงที่ไดโอดีเล็กทรอนิกส์ และการวัดค่าตัวประกอบการสูญเสียไดโอดีเล็กทรอนิกส์ของยางก้อนถ้วย ซึ่งยางก้อนถ้วยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มอายุ คือ 1 วัน และ 7 วัน โดยทั้ง 2 กลุ่ม มีเปอร์เซ็นต์เนื้อต่างกันตามระยะเวลาการเก็บ การตรวจวัดทำในช่วงความถี่กว้างตั้งแต่ 1.5 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.5 กิกะเฮิรตซ์ ค่าคงที่ไดโอดีเล็กทรอนิกส์ และค่าตัวประกอบการสูญเสียไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่ได้จากการวัดยางก้อนถ้วยทั้ง 2 กลุ่ม ถูกนำมาเปรียบเทียบกัน และให้ความแตกต่างกันชัดเจนคือ ยางก้อนถ้วยที่มีอายุ 1 วัน มีค่าคงที่ไดโอดีเล็กทรอนิกส์สูงกว่ายางก้อนถ้วยที่มีอายุ 7 วัน เฉลี่ยตลอดช่วงความถี่ที่วัดต่างกันอยู่ 23.75 และในช่วงที่แตกต่างกันมากที่สุดคือ ตั้งแต่ความถี่ 4.77 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.39 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งแตกต่างเฉลี่ยทั้งช่วงคือ 74.29% สำหรับค่าตัวประกอบการสูญเสียไดโอดีเล็กทรอนิกส์ของยางก้อนถ้วยระหว่างอายุ 1 วัน และ 7 วัน มีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 9.93 และในช่วงความถี่ที่แยกตัวประกอบการสูญเสียไดโอดีเล็กทรอนิกส์ได้เหมาะสมที่สุดอยู่ในช่วงความถี่ 5.01 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.37 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งให้ความแตกต่างอยู่ที่ 78.86% ซึ่งจากการศึกษาคุณสมบัติไดโอดีเล็กทรอนิกส์ของยางก้อนถ้วยในช่วงความถี่กว้าง แสดงให้เห็นว่าการคัดแยกอายุของยางก้อนถ้วยสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพในช่วงความถี่ 4.77 กิกะเฮิรตซ์ ถึง 5.39 กิกะเฮิรตซ์

ข้อเสนอแนะ

ความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกอายุของยางก้อนถ้วยที่ได้จากการทดลอง คือ 4.77 ถึง 5.39 กิกะเฮิรตซ์ สามารถนำไปใช้พัฒนาต่อยอดเป็นระบบเซนเซอร์ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในยางก้อนถ้วยด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำงานในช่วงความถี่ดังกล่าวสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม โดยพัฒนาสายอากาศให้สามารถทำงานในช่วงความถี่ดังกล่าว เพื่อใช้ตรวจสอบยางก้อนถ้วยด้วยการส่งผ่านกำลังงานของคลื่นความถี่ กำลังงานที่ตรวจสอบได้มีความแตกต่างกันชัดเจน เนื่องจากคุณสมบัติไดโอดีเล็กทรอนิกส์ส่งผลต่อการลดทอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในตัววัสดุ จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณเพื่อใช้ในการวิจัยจากกองทุนวิจัย ภายใต้การบริหารงานของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ 2560 ในสัญญาเลขที่ 2233/2560 จึงทำให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

- ผู้จัดการออนไลน์. (8 มกราคม 2558). ชาวสวนยางบุรีรัมย์จัดตรวจสอบวิธีหักค่าความชื้น แฉไม่มีมาตรฐานแคใช้มือจับดูเท่านั้น. สืบค้นจาก <https://mgronline.com/local/detail/9580000002696>.
- ปรีตวรณ ไชยศรีชลธาร อนุชิต ฉ่ำสิงห์ สุภัทร หนูสวัสดิ์ และ ชูศักดิ์ ขวประเสริฐ. (2556). ต้นแบบเครื่องวัดเปอร์เซ็นต์เนื้อยาง. ใน การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ระดับชาติ ครั้งที่ 14.
- ระบบจัดการความรู้ การยางแห่งประเทศไทย. (2555) การหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยาง. KM องค์การสวนยาง ฝ่ายสวน 2, 3.
- สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์ โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร. (2561). การส่งออกสินค้าสำคัญของไทยเรียงตามมูลค่า ปี 2556 - 2560 (มกราคม - ธันวาคม). สืบค้นจาก http://www.ops3.moc.go.th/infor/Export/recode_export_rank/report.asp. 3 มีนาคม 2561.
- สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. (2560). สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพฯ
- Jayanthi, T. & Sankaranarayanan, P. E. (2005). Measurement of dry rubber content in latex using microwave technique . *Measurement Science Review*, 5(3),50-54.
- Julrat, S. Chongcheawchamnan, M. Khaorapapong, T. Patarapiboolchai, O. Kiriksh, M. & Robertson, I. D. (2012) .Single-frequency-based dry rubber content determination technique for in-field measurement application . *IEEE Sensors Journal*, 12(10), 3019-3030.
- Julrat, S. Chongcheawchamnan, M. & Robertson, I. D. (2014). Characterisation of the dielectric properties of rubber latex from 0.5 to 33 GHz. *Biosystems Engineering*, 125, Sep. 2014, 1-8.
- Keysight Technologies. (2017). *Basics of measuring the dielectric properties of materials*. USA.
- Suchat, S. Theanjumpol, P. & Karrilaa, S. (2015). Rapid moisture determination for cup lump natural rubber by near infrared spectroscopy. *Industrial Crops and Products*, 76, 772-780.

เครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

The plastic film sheet width measurement machine

ทัศนะ ถมทอง(Tatsana Thomthong)* สหราช สมัครไทย(Saharat Samakthai)

ธวัชชัย วงศ์แสง(Thawatthai Wongsang)

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

*Corresponding author. E-mail: tatsana@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อนำไปติดตั้งกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกของบริษัทป๊อปปูล่าแพค จำกัดเพื่อลดผลผลิตแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้ขนาด เครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล Arduino Mega 2560, สเต็ปป์มอเตอร์สองตัว, อัลตราโซนิกเซนเซอร์สองตัว, คีย์แพด, จอแสดงผลแอลซีดี, ไฟลีดแลมป์ และบัชเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกอ้างอิงจากคีย์แพดและประมวลผลจำนวนค่าพัลส์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของสเต็ปป์มอเตอร์เพื่อนำอัลตราโซนิกเซนเซอร์ไปตรวจจับขอบแผ่นฟิล์มพลาสติก เมื่อพบขอบแผ่นฟิล์มพลาสติกทั้งสองด้านแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะคำนวณความกว้างของแผ่นฟิล์มพลาสติกและแสดงค่าความกว้างของแผ่นฟิล์มพลาสติกที่จอแสดงผลแอลซีดี หากความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกมากกว่าค่าอ้างอิงไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ไฟลีดแลมป์ และบัชเซอร์ทำการแจ้งเตือน

การทดสอบเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก โดยทำการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มขนาด 300, 400, 500 และ 600 เซนติเมตร อย่างละ 100 ครั้ง พบว่าความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.0, 0.6, 1.2 และ 0.4 มิลลิเมตร ผลการแจ้งเตือนพบว่าหลอดไฟสถานะและสัญญาณเสียงทำงานถูกต้องตามเงื่อนไข 100 เปอร์เซ็นต์ เครื่องต้นแบบลดความเสียหายของผลผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกได้เท่ากับ 56 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณเมื่อเทียบกับความเสียหายของผลผลิตเดิม

คำสำคัญ: ไมโครคอนโทรลเลอร์ สเต็ปป์มอเตอร์ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ แผ่นฟิล์มพลาสติก

Abstract

This project purposed to design and implementation of a plastic film width measuring machine. This prototype include with the plastic film extruder at Popular pack Co., Ltd. This combined machine used to reduce conventional plastic waste in

production line. The prototype machine comprised with an Arduino Mega 2560 microcontroller, keypad, two stepping motors, two ultrasonic sensors, a liquid crystal display, warning pilot lamp and buzzer. The microcontroller received reference width of plastic film sheet from keypad and calculated pulse numbers that used to control stepping motor movement. This movement take ultrasonic sensors detect left and right edges of plastic film sheet. When ultrasonic sensors detect edge of plastic film sheet the microcontroller calculated plastic film sheet width and display plastic film sheet by liquid crystal display. If plastic film sheet width range over the reference range, the microcontroller take pilot lamp and buzzer warning.

This prototype machine take 100 times test by 300, 400, 500, and 600 centimeters plastic widths respectively. The testing results were found firstly, the maximum width error are 1.0, 0.6, 1.2, and 0.4 millimeter. Secondly, the warning lamp and sound have 100 % decision making. Finally, the conventional plastic waste was reduce by 56 % approximately.

Keywords: Microcontroller, Stepping Motor, Ultrasonic Sensor, Plastic film sheet

บทนำ

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลผลผลิตที่เสียหายในกระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกของบริษัท ปิโอบูลาร์แพค จำกัด ที่ผลิตออกมาไม่ได้ขนาดตามที่กำหนด ด้วยเครื่องจักร 7 เครื่องคิดเป็น 0.6 เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตทั้งหมด ความเสียหาย 37,000 บาทต่อเดือนโดยประมาณ มีเหตุปัจจัยเนื่องจากคุณภาพวัตถุดิบ สภาพอากาศ สภาพเครื่องจักร และความผิดพลาดของผู้ควบคุมเครื่องจักร ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้คือคุณภาพของวัตถุดิบ ตัวแปรสภาพอากาศสามารถควบคุมได้แต่มีต้นทุนสูงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน ส่วนตัวแปรสภาพเครื่องจักรและความผิดพลาดของผู้ควบคุม สามารถลดความผิดพลาดให้น้อยลงได้ด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพการตรวจรู้ของเครื่องจักร ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นพัฒนาความสามารถในการตรวจรู้ความกว้างของแผ่นฟิล์มพลาสติกและระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการควบคุมเครื่องจักรของผู้ควบคุมและลดผลผลิตที่เสียหายเนื่องจากแผ่นฟิล์มไม่ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกที่วัดความกว้างได้แบบอัตโนมัติ
2. เพื่อประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการวัดความกว้างของแผ่นฟิล์มพลาสติก
3. เพื่อนำเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกติดตั้งกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกของบริษัท ปิอูปูลาร์แพค จำกัด

วิธีดำเนินการวิจัย

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงขอบเขตการวิจัย ลำดับขั้นตอนและเทคนิควิธีที่ใช้ในการศึกษาวิจัย เช่น การออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ วิธีการเก็บผลการทดสอบ วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ขอบเขตการวิจัย

1. ค่าความผิดพลาดของความกว้างแผ่นฟิล์มที่วัดได้ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ของความกว้างแผ่นฟิล์มที่กำหนด
2. ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก
3. สร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกเพื่อติดตั้งกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกของบริษัท ปิอูปูลาร์แพค จำกัด
4. ลดความเสียหายของผลผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกได้ไม่น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จากความเสียหายของผลผลิตเดิม

หลักการทำงานของเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติก

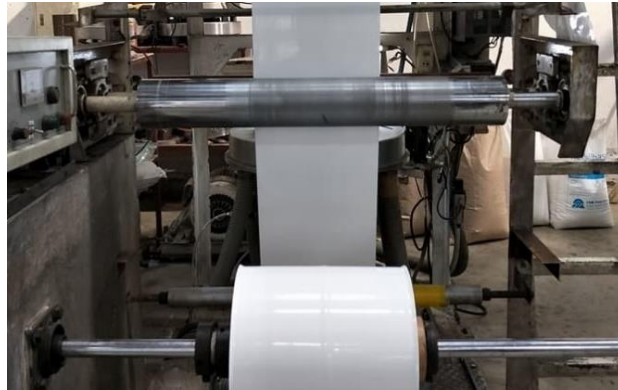


ภาพที่ 1 การทำงานของเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติก บริษัท ปิ๊อปปูล่าร์แพค จำกัด

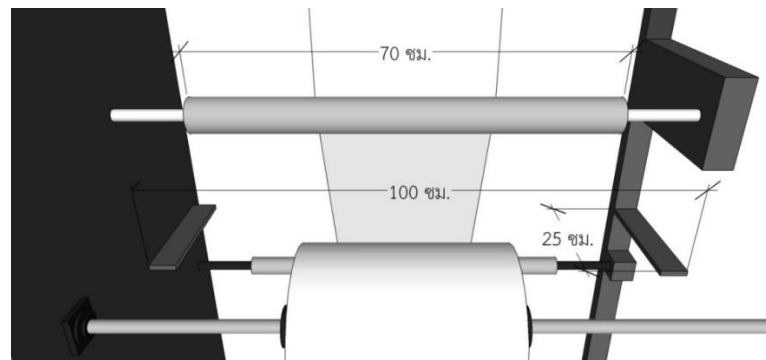
จากภาพที่ 1 เป็นหลักการทำงานของเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติก บริษัท ปิ๊อปปูล่าร์แพค จำกัด โดยเริ่มต้นจากการป้อนและหลอมรวมเม็ดพลาสติกให้เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสูตรการผสมเกิดจากการนำคุณสมบัติของเม็ดพลาสติก มาหลอมรวมกันจนเกิดเป็นฟิล์มที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยแม่แบบคือส่วนทำให้พลาสติกที่ถูกหลอมนั้นเกิดเป็นรูปทรงขึ้น ซึ่งแม่แบบนี้มีหลายรูปแบบ การใช้งานจะขึ้นอยู่กับฟิล์มที่ต้องการผลิต ส่วนวงแหวนหล่อเย็นเป็นส่วนที่ทำหน้าที่หล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของฟิล์มเนื่องจากฟิล์มที่ถูกกระทำจากแม่แบบมานั้นจะยังมีความร้อนจากการหลอมละลายอยู่ การทำให้อุณหภูมิของฟิล์มเย็นลงด้วยลม จะช่วยทำให้ฟิล์มที่ผ่านกระบวนการเป่ามาเกิดการคงรูปมากขึ้น เมื่อแผ่นนำฟิล์มเข้าสู่กริดใช้ในการบีบฟิล์มที่ถูกเป่าโดยแม่แบบให้ค่อย ๆ ริดตัวจากฟิล์มที่ถูกเป่าจนพองเป็นทรงกระบอกจะถูกริดด้วยโลหะแผ่นหรือลูกกลิ้ง เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการรีดโดยลูกกลิ้งรีดทำหน้าที่รีดฟิล์มพลาสติกให้แบนกลายเป็นแผ่นฟิล์มเพื่อเตรียมเข้าสู่การม้วนเก็บ

ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

จากภาพที่ 2 เป็นการหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกโดยเลือกตำแหน่งด้านล่างของเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกเป็นตำแหน่งที่เตรียมเข้าสู่การม้วนเก็บ เนื่องจากตำแหน่งนี้สะดวกในการติดตั้งและการใช้งาน



ภาพที่ 2 ตำแหน่งสำหรับการติดตั้งเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

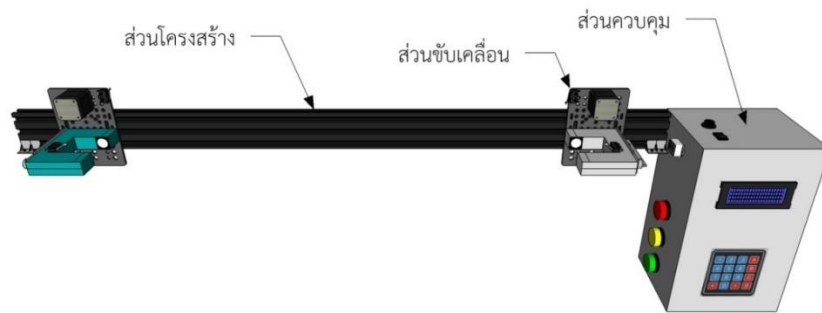


ภาพที่ 3 แบบจำลองตำแหน่งสำหรับการติดตั้งเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

การวัดขนาดจริงของเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกของบริษัท ปิโปปูลาร์แพค จำกัด โดย
ฐานที่จะนำส่วนของโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกไปติดตั้งนั้นมีขนาดความกว้าง
25 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร และแท่งลูกกลิ้งที่ทำการรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกมีขนาดความ
ยาว 70 เซนติเมตร

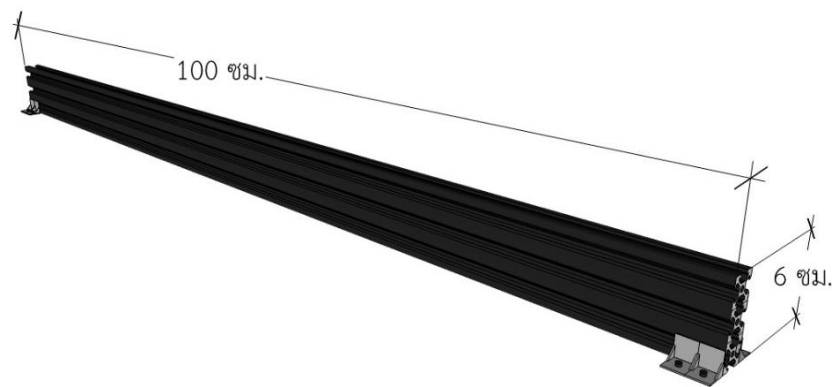
การออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

การออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกโดยรวมจะแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ
1) ส่วนโครงสร้างเป็นส่วนของที่ยึดติดเข้ากับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติก 2) ส่วนขับเคลื่อน เป็นส่วน
เคลื่อนที่ในการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก และ 3) ส่วนควบคุม เป็นส่วนรับค่า ประมวลผล และ
แสดงผล ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การออกแบบโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

1) การออกแบบส่วนโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

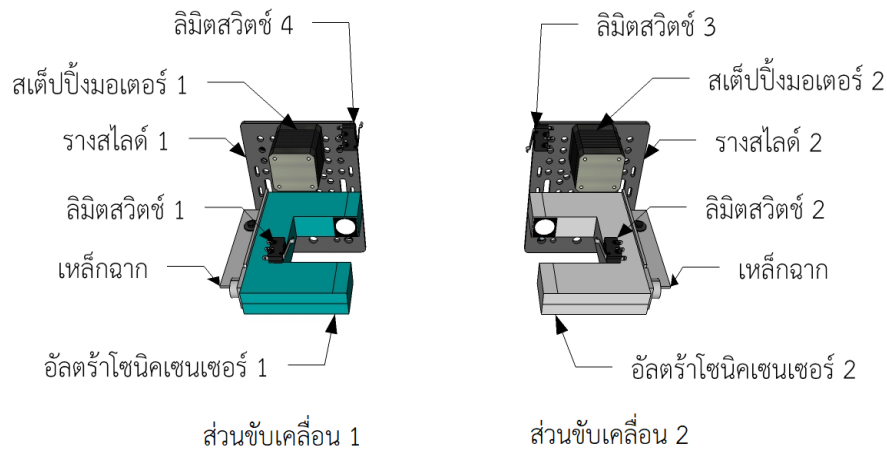


ภาพที่ 5 โครงสร้างอลูมิเนียมโปรไฟล์เครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

การออกแบบส่วนโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกที่จะนำไปยึดติดกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติก ประกอบด้วย อลูมิเนียมโปรไฟล์ และฉากยึดโดยออกแบบให้ส่วนโครงสร้างสามารถนำไปติดตั้งกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกได้ โดยให้มีขนาดความยาว 100 เซนติเมตร และความสูง 6 เซนติเมตร ดังภาพที่ 5

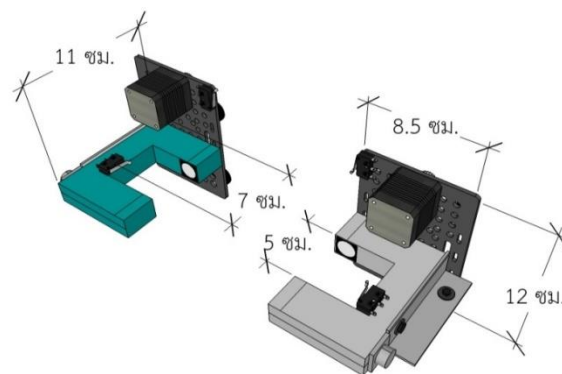
2) การออกแบบส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

จากภาพที่ 6 เป็นการออกแบบส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก จะแบ่งส่วนขับเคลื่อนออกเป็น 2 ชุด เพื่อให้สามารถวัดขอบแผ่นฟิล์มพลาสติกได้พร้อมกันทั้ง 2 ข้าง โดยส่วนขับเคลื่อนประกอบไปด้วย

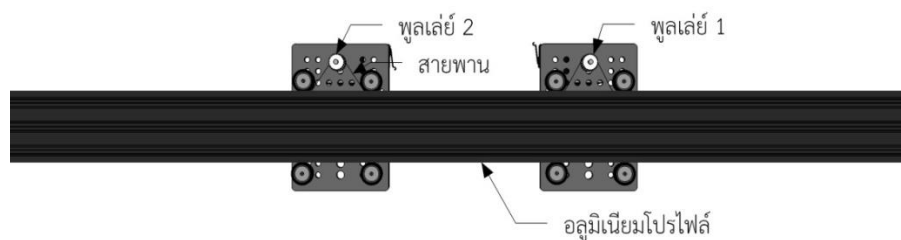


ภาพที่ 6 การออกแบบส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

สแต็ปปีงมอเตอร์, อัลตราโซนิกเซนเซอร์, ลิมิตสวิตช์, รางสไลด์ และเหล็กฉาก มีลักษณะการติดตั้งดังภาพที่ 6 และขนาดของส่วนขับเคลื่อน โดยรางสไลด์มีขนาดความกว้าง 8.5 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร และอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีความยาวออกจากรางสไลด์ 11 เซนติเมตร และอัลตราโซนิกเซนเซอร์มีระยะในการตรวจจับวัตถุอยู่ในช่วง 5 เซนติเมตร เมื่อนำทุกส่วนมาติดตั้งรวมกัน ควรติดตั้งให้แผ่นฟิล์มพลาสติกอยู่ระหว่างช่วงที่อัลตราโซนิกตรวจจับวัตถุ และให้แผ่นฟิล์มพลาสติกอยู่ห่างจากรางสไลด์ 7 เซนติเมตร ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การออกแบบขนาดส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก



ภาพที่ 8 ด้านหลังส่วนขับเคลื่อนต่อเข้ากับรางอลูมิเนียมโปรไฟล์

การเคลื่อนที่ของส่วนขับเคลื่อนนั้นจะต้องใช้งานร่วมกับส่วนโครงสร้างที่เป็นอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ถูกออกแบบมาใช้งานร่วมกับรางสไลด์ โดยด้านหลังของส่วนขับเคลื่อนประกอบด้วยพูลเลย์และสายพาน ดังภาพที่ 8

2) การออกแบบส่วนควบคุมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

การออกแบบส่วนควบคุมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกจะคำนึงถึงความสะดวกในการใช้งานโดยการออกแบบให้มีการรับค่าและแสดงผลอยู่ในส่วนเดียวกัน ส่วนด้านหน้าและภายนอกจะประกอบด้วยจอแสดงผลแอลซีดี และคีย์แพด ส่วนด้านข้างจะประกอบด้วย บัสเชอร์ พัดลมระบายอากาศ และ หลอดไฟสถานะสีเขียว สีเหลือง สีแดง ส่วนด้านบนจะประกอบด้วยสวิทช์ และฟิวส์ ส่วนภายในประกอบด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย โมดูลรีเลย์ เป็นอุปกรณ์หลัก ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์ภายในและภายนอกตู้ควบคุมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

โครงสร้างจริงเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

ส่วนประกอบโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) ส่วนโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก 2) ส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก และ 3) ส่วนควบคุมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

1) องค์ประกอบส่วนโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

องค์ประกอบส่วนโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกประกอบด้วย อลูมิเนียมโปรไฟล์เบอร์ 2060 ยาว 1 เมตรและฉากยึด การยึดติดอลูมิเนียมโปรไฟล์จำเป็นต้องใช้ตัวทินท์และฉาก

ยึดโดยเฉพาะ โดยจะใช้ทั้งหมด 8 ชุด เพื่อประกอบเป็นส่วนโครงสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 โครงสร้างจริงยึดเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

2) องค์ประกอบส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

องค์ประกอบส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก ประกอบไปด้วย สเต็ปป์มอเตอร์ Nema 17, พูลเลย์จีที, 2 สายพานจีที, 2 รางสไลด์, อัลตราโซนิกเซนเซอร์ CX-1, เหล็กฉาก และลิมิตสวิตช์

เนื่องจากการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกจะใช้หลักการวัดระยะทางของมอเตอร์ในการนำเซนเซอร์เคลื่อนที่เข้าไปตรวจจับขอบแผ่นฟิล์มพลาสติก โดยหน่วยที่ใช้ในการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร จึงเลือกใช้สเต็ปป์มอเตอร์โดยอาศัยหลักการจ่ายพัลส์ให้สเต็ปป์มอเตอร์ และนำค่าพัลส์มาคำนวณเป็นระยะทาง โดยจะเลือกใช้สเต็ปป์มอเตอร์ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 สเต็ปป์มอเตอร์ Nema 17

จากภาพที่ 11 เป็นสเต็ปป์มอเตอร์ Nema 17 แบบไบโพลาร์ มีคุณสมบัติคือ ใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มุมต่อสเต็ป 1.8 องศา แรงบิดขนาด 0.52 นิวตัน-เมตร ขนาดฟักัดกระแส 1.8 แอมป์แปร์ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลานขนาด 5 มิลลิเมตร และมีสองเฟส นำมาใช้ประกอบเป็นส่วนขับเคลื่อนจำนวน 2 ตัว และการเลือกสเต็ปป์มอเตอร์มาใช้ในการสร้างเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์ม

พลาสติกสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมี 2 ส่วน คือ 1) ความละเอียดในการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ และ 2) แรงบิดในการเคลื่อนที่ของสเต็ปมอเตอร์ ความละเอียดในการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ต้องคำนวณพัลส์ต่อการหมุนของสเต็ปมอเตอร์หนึ่งรอบ สามารถคำนวณได้จากมุมของสเต็ปมอเตอร์จะหมุนไป 1.8 องศาต่อพัลส์ที่จ่ายให้หนึ่งพัลส์ สมการ (1) เป็นการคำนวณพัลส์ต่อการหมุนของสเต็ปมอเตอร์หนึ่งรอบ

$$P = \frac{2\pi}{\theta} \dots\dots\dots(1)$$

เมื่อ P คือ จำนวนพัลส์ : [pulse], θ คือ มุมของสเต็ปมอเตอร์ : [deg]

จากสมการ (1) เมื่อต้องการให้สเต็ปมอเตอร์หมุนหนึ่งรอบ ต้องจ่ายพัลส์ให้เท่ากับ 200 พัลส์ หลังจากนั้น นำค่าพัลส์มาคำนวณเป็นระยะทาง โดยจะต้องคำนวณร่วมกับระยะพิตช์ของพูลเลย์ และพูลเลย์ที่เลือกใช้คือพูลเลย์จีที 2 โดยนำมาใช้ในการประกอบส่วนขับเคลื่อนจำนวน 2 ตัว มีจำนวนฟันเฟือง 20 ฟัน มีระยะพิตช์ 2 มิลลิเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา 5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 12



จากภาพที่ 12 เป็นพูลเลย์จีที 2 สำหรับใช้งานกับสายพานที่มีความกว้าง 6 มิลลิเมตร โดยพูลเลย์จีที 2 จะต้องนำไปใช้งานร่วมกับสายพานที่มีระยะพิตช์เท่ากันคือ 2 มิลลิเมตร โดยจะเลือกใช้สายพานจีที 2 เพื่อใช้ในการประกอบส่วนขับเคลื่อนจำนวน 1 เส้น มีความยาว 100 เซนติเมตร ซึ่งมีระยะพิตช์ 2 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 13 เมื่อทราบระยะพิตช์และจำนวนฟันของพูลเลย์สามารถนำมาคำนวณระยะทางการหมุนของพูลเลย์หนึ่งรอบได้จากระยะพิตช์ของพูลเลย์ 2 มิลลิเมตร และจำนวนฟันของพูลเลย์เท่ากับ 20 ฟัน สามารถคำนวณระยะทางต่อการหมุนของพูลเลย์ 1 รอบ ได้จากสมการ (2)

$$S = pZ \dots\dots\dots(2)$$

จากสมการ (2) จะได้ระยะทางต่อการหมุนของพูลเลย์หนึ่งรอบเท่ากับ 40 มิลลิเมตร เมื่อทราบจำนวนพัลส์ต่อการหมุนของสเต็ปมอเตอร์หนึ่งรอบและระยะทางต่อการหมุนของพูลเลย์หนึ่ง

รอบ สามารถนำมาคำนวณระยะทางต่อการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ 1 พัลส์ ได้จากพัลส์ต่อการหมุนของสเต็ปมอเตอร์หนึ่งรอบเท่ากับ 200 พัลส์ เมื่อนำมาคำนวณระยะทางต่อการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ 1 พัลส์ จะได้ 0.2 มิลลิเมตรต่อพัลส์

การเคลื่อนที่ของส่วนขับเคลื่อนนั้นจะต้องใช้รางสไลด์ในการเคลื่อนที่ โดยจะเป็นส่วนที่นำสเต็ปมอเตอร์ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ และลิมิตสวิตช์มาติดตั้ง รางสไลด์จะใช้งานร่วมกับบอลรูมิเนียมโปรไฟล์ โดยจะใช้รางสไลด์จำนวน 2 ชุด มาใช้ในการประกอบส่วนขับเคลื่อน และรางสไลด์มีลักษณะดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 รางสไลด์



ภาพที่ 15 ส่วนขับเคลื่อนเซนเซอร์วัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

ภาพที่ 15 เป็นส่วนขับเคลื่อนเซนเซอร์ให้เคลื่อนที่ไปทำการตรวจจับแผ่นฟิล์มพลาสติก เลือกใช้อัลตราโซนิกเซนเซอร์ในการตรวจจับแผ่นฟิล์มพลาสติกเนื่องจากอัลตราโซนิกเซนเซอร์สามารถทำงานได้ในสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวย เช่น ในสถานที่ที่มีฝุ่นผงและความสกปรก สามารถตรวจจับวัตถุได้ดี แม้ว่าวัตถุนั้นจะมีความโปร่งใส โปร่งแสง มีความแวววาวได้อย่างแม่นยำและยังเหมาะสำหรับการตรวจจับของเหลวและวัตถุที่เป็นเม็ดได้เป็นอย่างดี โดยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ที่เลือกใช้นั้นเป็นเซนเซอร์ชนิด PNP เป็นได้ทั้ง แบบปกติเปิด(NO) และแบบปกติปิด(NC) ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้แรงดันไฟฟ้าอินพุต 12 โวลต์ และให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ แต่ในการใช้งานจริงจะเลือกใช้ แบบปกติปิด(NC) คือเมื่อเซนเซอร์ตรวจไม่พบวัตถุจะให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์ และเมื่ออัลตราโซนิกเซนเซอร์ตรวจพบวัตถุจะให้เอาต์พุตออกมาเป็นแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์

เนื่องจากการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกนั้นต้องการวัดค่าที่มีความละเอียดสูงระดับหน่วยมิลลิเมตร ฉะนั้นอัลตราโซนิกเซนเซอร์ต้องมีการติดตั้งเข้ากับรางสไลด์ให้มั่นคงแข็งแรง และให้อัลตราโซนิกเซนเซอร์ตั้งฉากกับรางสไลด์เพื่อให้อยู่ช่วงในการตรวจจับวัตถุตรงกับตำแหน่งของแผ่นฟิล์มพลาสติก จากนั้นทำการประกอบ สเต็ปมอเตอร์ พูลเลย์ อัลตราโซนิกเซนเซอร์ เหล็กฉาก และลิมิตสวิตช์ เข้ากับรางสไลด์รวมกันเป็นส่วนขับเคลื่อนจำนวน 2 ชุด โดยลักษณะการติดตั้งของส่วนขับเคลื่อนจะมีลักษณะดังภาพที่ 16 เป็นส่วนขับเคลื่อนเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

จำนวน 2 ชุด ซึ่งแต่ละชุดมีน้ำหนัก 1.56 กิโลกรัม โดยใช้สแต็ปปีงมอเตอร์เป็นต้นกำลังในส่วนขับเคลื่อน สามารถคำนวณแรงบิดได้จากสมการ (3)

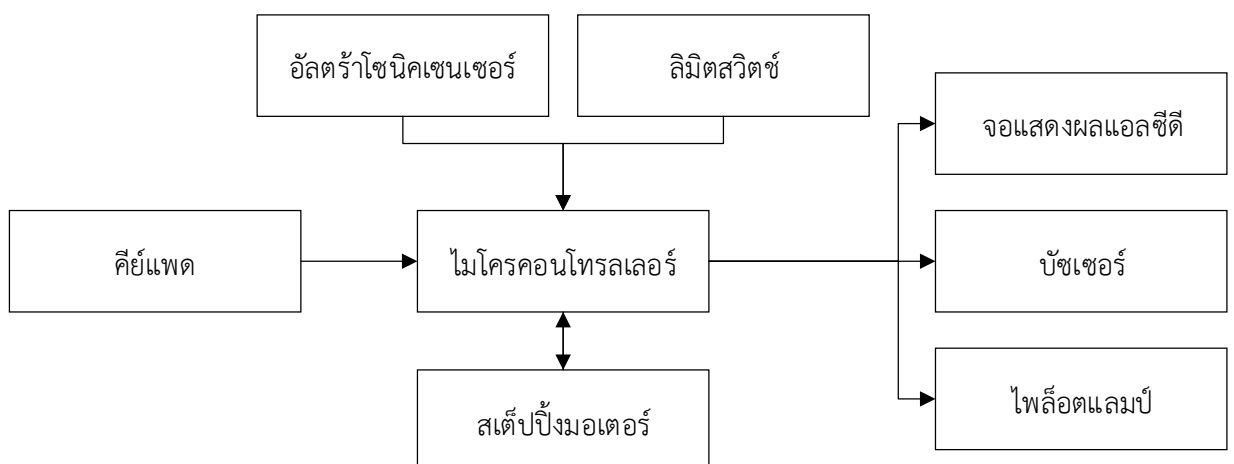
$$F = mg \quad \dots\dots\dots(3)$$

เมื่อ F คือแรง : [N] และ m คือ น้ำหนักส่วนขับเคลื่อน : [kg]

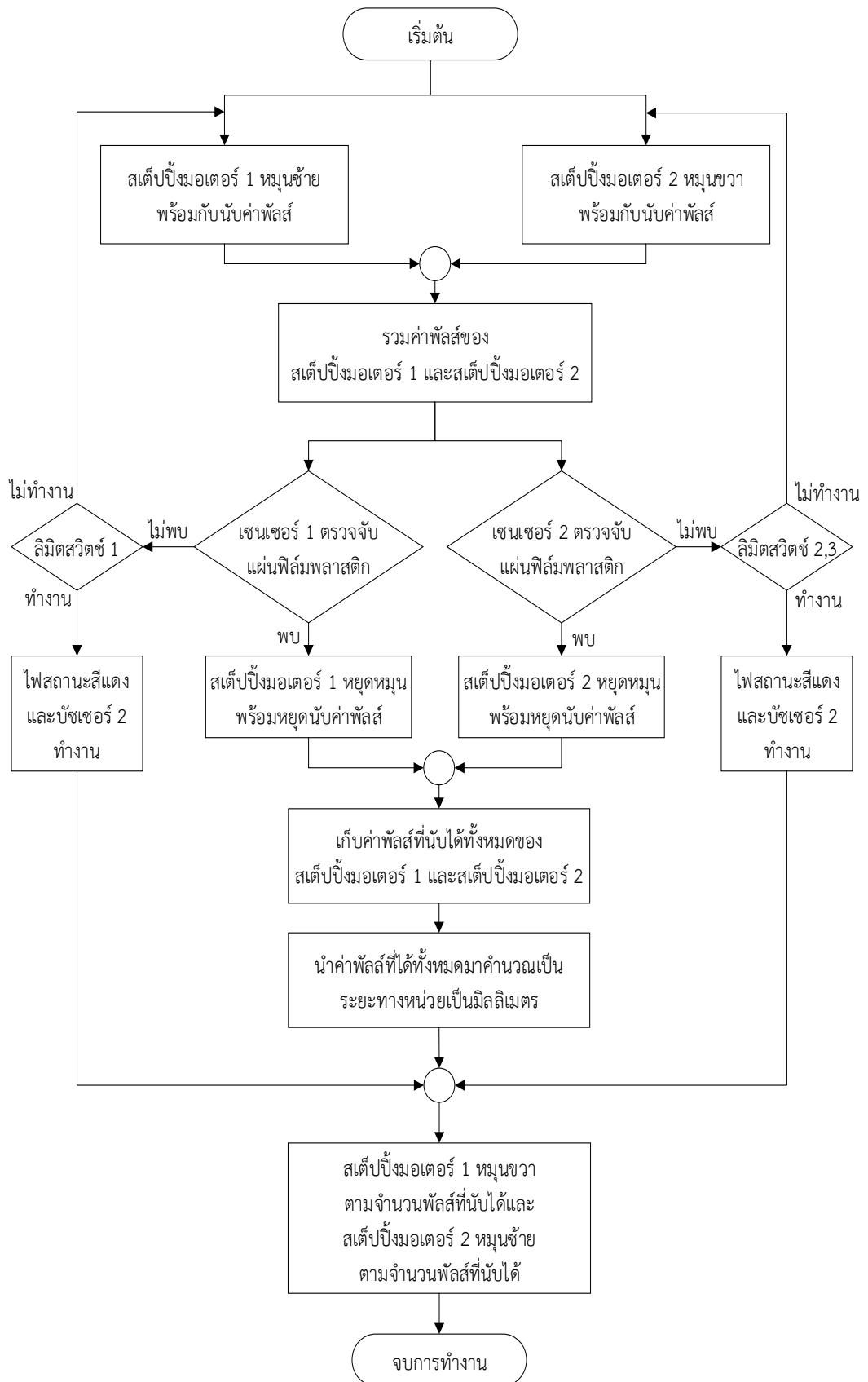
จากสมการ (4) สามารถคำนวณหาค่าแรงบิดได้เท่ากับ 0.1071 นิวตัน-เมตร สรุปในส่วนขับเคลื่อน เมื่อจ่ายพัลส์ให้สแต็ป-ปีงมอเตอร์ 1 พัลส์ จะทำให้ส่วนขับเคลื่อนนั้นเคลื่อนที่ได้ 0.2 มิลลิเมตร และส่วนขับเคลื่อนต้องการใช้แรงบิด 0.1071 นิวตัน-เมตร แต่คุณสมบัติของสแต็ปปีงมอเตอร์ Nema 17 จะให้แรงบิด 0.52 นิวตัน-เมตร เนื่องจากการเลือกใช้สแต็ปปีงมอเตอร์จะคำนึงถึงมูตอสแต็ปก่อน จึงทำให้ได้ค่าแรงบิดของสแต็ปปีงมอเตอร์มากเกินไปกว่าค่าแรงบิดที่ต้องการใช้งานจริง

3) องค์ประกอบส่วนควบคุมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

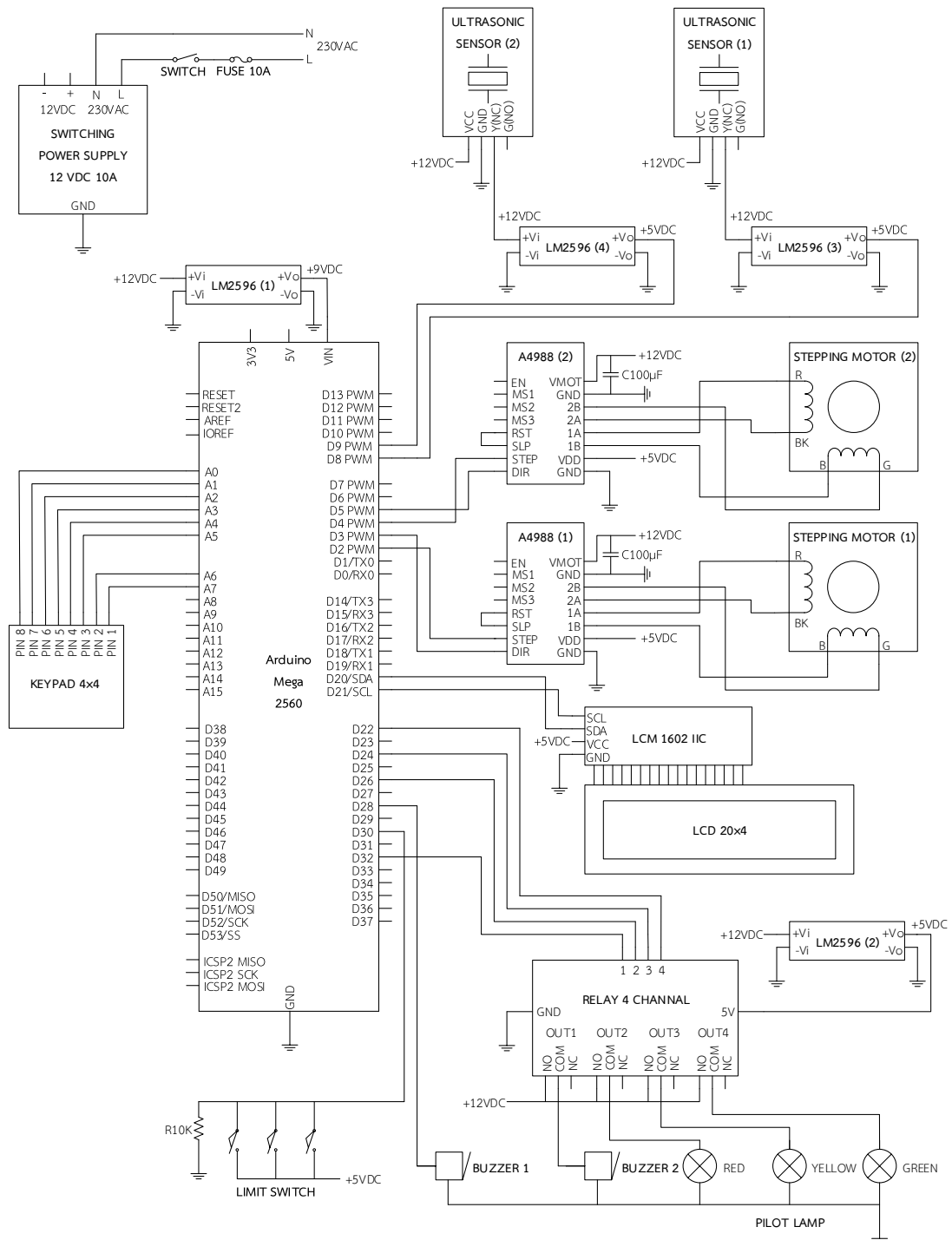
จากภาพที่ 16 เป็นบล็อกไดอะแกรมของเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกแสดงหลักการทำงานโดยเริ่มจากการรับค่าเป็นตัวเลขจากคีย์แพด เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมโดยการจ่ายพัลส์ให้สแต็ปปีงมอเตอร์ทำงาน เมื่อได้รับสัญญาณจากอัลตราโซนิกเซนเซอร์ และลิมิตสวิตช์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการนำค่าพัลส์จากสแต็ปปีงมอเตอร์มาประมวลผลให้ไปแสดงที่จอแสดงผลแอลซีดี บัสเซอร์ และไฟลีดแลมป์ โดยมีโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความกว้างของแผ่นฟิล์มดังภาพที่ 17 และสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกดังภาพที่ 18



ภาพที่ 16 บล็อกไดอะแกรมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก



ภาพที่ 17 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดความกว้างของแผ่นฟิล์ม

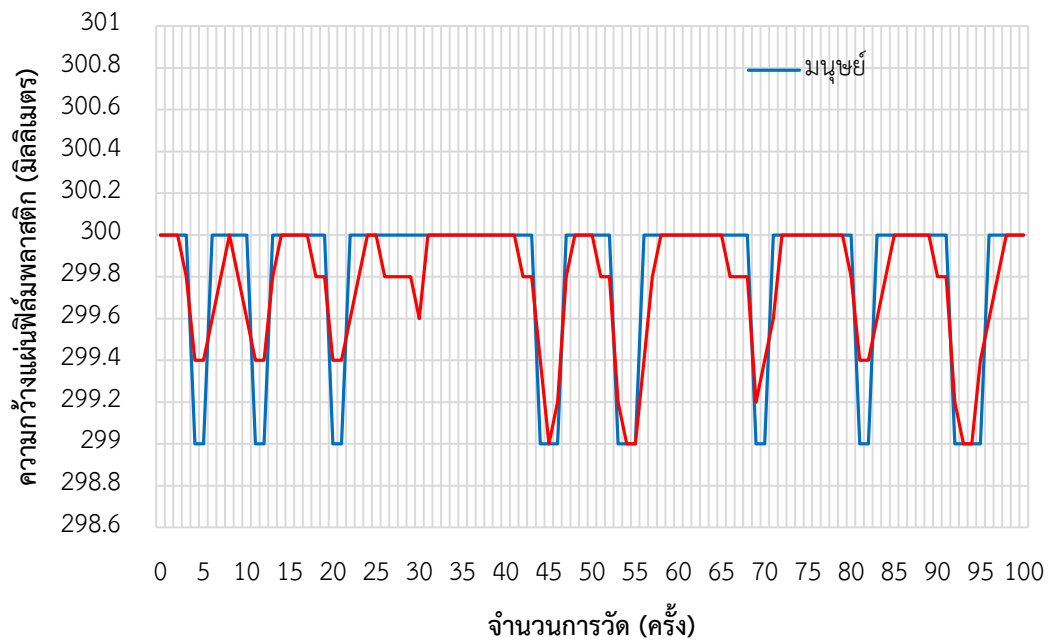


ภาพที่ 18 วงจรการควบคุมเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติก

ผลการวิจัย

จากภาพที่ 19 เป็นผลการทดสอบวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ บริษัท ปิ๊ปปูลาร์แพค จำกัด ด้วยเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกเปรียบเทียบกับการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกโดยการให้มนุษย์ใช้เครื่องมือในการวัด ทดสอบโดยการวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกเปรียบเทียบกับ

การวัดโดยมนุษย์ ทดสอบวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกความกว้าง 300 มิลลิเมตร โดยตั้งค่าระยะห่างระหว่างเซนเซอร์ไว้ที่ 400 มิลลิเมตร จำนวนการวัดทั้งหมด 100 ครั้ง และทำการวัดพร้อมกันทุก ๆ 5 นาที พบว่าการวัดด้วยเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกเปรียบเทียบกับ การวัดโดยการให้มนุษย์ใช้เครื่องมือในการวัดนั้นมีค่าความกว้างที่ใกล้เคียงกัน และไปในทิศทางเดียวกัน



ภาพที่ 19 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการวัดของเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มเทียบกับการวัดโดยมนุษย์

สรุปและอภิปรายผล

ผลคำนวณการลดความเสียหายของผลผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติก

ผลผลิตของเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกทั้งหมด 7 เครื่อง ของบริษัท ปิโปปูลาร์แพคเกจ จำกัด ตั้งแต่เดือน กุมภาพันธ์ 2560 ถึง มกราคม 2561 เฉลี่ยทั้งหมด 12 เดือน ที่เกิดจากการวัดโดยมนุษย์ใช้เครื่องมือในการวัดความกว้างทุก ๆ 30 นาที ได้ผลผลิตทั้งหมด 78,469.92 กิโลกรัม ผลผลิตดี 77,433.21 กิโลกรัม และเกิดผลผลิตเสีย 1,036.71 กิโลกรัม คิดเป็นผลผลิตเสียทั้งหมด 1.34 เปอร์เซ็นต์

ผลผลิตเสียทั้งหมดสามารถจำแนกได้เป็น 3 ลักษณะคือ 1) ผลผลิตเสียไม่ได้ขนาด 60 เปอร์เซ็นต์ 2) ผลผลิตเสียเป็นลายเส้น 20 เปอร์เซ็นต์ และ 3) ผลผลิตเสียเป็นรอยยับ 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดผลผลิตเสียไม่ได้ขนาดเพียงอย่างเดียว และเครื่องต้นแบบใช้งานกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกได้เพียงหนึ่ง เครื่อง เมื่อนำมาคำนวณหาอัตราการลดผลผลิตเสียเนื่องจากไม่ได้ขนาดได้ดังนี้

ผลผลิตทั้งหมด 1 เครื่องต่อเดือน

ผลผลิตทั้งหมด 78,469.92 / 7 เท่ากับ	11,209.98	กิโลกรัม
ผลผลิตดี 77,433.21 / 7 เท่ากับ	11,061.88	กิโลกรัม
ผลผลิตเสีย 1,036.71 / 7 เท่ากับ	148.10	กิโลกรัม

ผลผลิตทั้งหมด 1 เครื่องต่อวัน

ผลผลิตทั้งหมด 11,209.98 / 30 เท่ากับ	373,666.00	กรัม
ผลผลิตดี 11,061.88 / 30 เท่ากับ	368,729.33	กรัม
ผลผลิตเสีย 148.10 / 30 เท่ากับ	4,936.67	กรัม
ผลผลิตเสียไม่ได้ขนาด $4,936 \times 60\%$ เท่ากับ	2,961.60	กรัม

ผลผลิตทั้งหมดคิดเป็นเวลาการผลิตใน 1 วัน

ผลผลิตทั้งหมด 373,666.00 กรัม	ใช้เวลา	1,440.00	นาที่
ผลผลิตดี $(368,729.33 / 373,666.00) \times 1,440$	ใช้เวลา	1,420.97	นาที่
ผลผลิตเสีย $1,440 - 1,420.97$	ใช้เวลา	19.03	นาที่
ผลผลิตเสียไม่ได้ขนาด $19.03 \times 60\%$	ใช้เวลา	11.41	นาที่

ผลผลิตเสียที่ไม่ได้ขนาดเฉลี่ยใน 1 วัน เท่ากับ 2,961.60 กรัม จะเกิดขึ้นต่อเนื่องกันเป็น เวลาประมาณ 11.41 นาทีเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกทำการวัดได้ในทุก ๆ 5 นาที จึงทำ ให้มีโอกาสที่จะพบผลผลิตเสียได้ 2 ครั้ง เหลืออีก 1.41 นาที แต่รอบการทำงานของเครื่องตรวจพบ แผ่นฟิล์มไม่ได้ขนาดใช้เวลารอบละ 5 นาที หากรอบสุดท้ายต้องใช้เวลา 5 นาทีแล้วอัลตราโซนิกเซน เซอร์ตรวจยังไม่พบแผ่นฟิล์มไม่ได้ขนาด จะทำให้เกิดผลผลิตเสียได้เท่ากับ 1,297.63 กรัม

สรุปเมื่อใช้งานเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกร่วมกับเครื่องอัดรีดแผ่นฟิล์ม พลาสติกจำนวน 1 เครื่อง จะสามารถลดผลผลิตเสียจากเดิมได้เท่ากับ 1,663.97 กรัมต่อวัน และ คิดเป็นการลดความเสียหายของผลผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกเท่ากับ 56.18 เปอร์เซ็นต์จากผลผลิตที่ เสียหายเดิม และจะสามารถลดความเสียหายได้ 2,970 บาทต่อเดือนต่อเครื่อง ค่าวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ ทำเครื่องต้นแบบ 19,660 บาท มีจุดคุ้มทุนที่ระยะเวลา 7 เดือน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของส่วนขับเคลื่อน โดยการเปลี่ยนสเก็ปปิ้งมอเตอร์และโมดูลขับเคลื่อน
2. ควรให้ตำแหน่งส่วนขับเคลื่อนมีระยะห่างจากขอบแผ่นฟิล์มพลาสติกทั้ง 2 ข้าง เท่ากันจะทำให้ได้ความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ถูกต้อง
3. ตำแหน่งในการติดตั้งเครื่องวัดความกว้างแผ่นฟิล์มพลาสติกควรอยู่ใกล้กับส่วนขึ้นรูปซึ่งเป็นส่วนที่เริ่มปรับขนาดแผ่นฟิล์มพลาสติก เพื่อให้สามารถตรวจพบผลผลิตเสียได้เร็วขึ้น
4. ควรเปลี่ยนให้ฟาสถานะมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นเพื่อสะดวกต่อการมองเห็น และสัญญาณเสียงควรมีเสียงดังให้เหมาะสมกับการแจ้งเตือนในโรงงานที่มีเครื่องจักรทำงานอยู่ตลอดเวลา

เอกสารอ้างอิง

- ศิริพงษ์ ศรีสุวรรณ. (2557). เอกสารประกอบการให้ความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์. สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา เขต 12. โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย นครศรีธรรมราช.
- การแสดงผลด้วยจอแอลซีดีของ Arduino. (2559). เข้าถึงได้จาก :
www.sbt.ac.th/new/?q=node%2F149 [2 กุมภาพันธ์ 2561]
- รีเลย์ 4 ช่อง 5 โวลต์. (2561). เข้าถึงได้จาก : <https://www.arduinoall.com/product/657/>
บอร์ดรีเลย์-9v-4-channel-relay-4-ช่อง [11 กุมภาพันธ์ 2561]
- สายพาน. (2561). เข้าถึงได้จาก : <https://klongthomshoppingmall.com/loop-gt2-600-6mm.html> [2 กุมภาพันธ์ 2561]
- สวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายเบื้องต้น. (2560). เข้าถึงได้จาก : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/switching_regulator/ [11 กุมภาพันธ์ 2561]
- อัลตราโซนิกเซนเซอร์. (2560). เข้าถึงได้จาก : www.supremelines.co.th/สารน่ารู้/2090-อัลตราโซนิก-เซนเซอร์ [2 กุมภาพันธ์ 2561]
- อลูมิเนียมโปรไฟล์ V-Slot. (2561). เข้าถึงได้จาก :
https://www.zonemaker.com/product/860/t-slot-อลูมิเนียมโปรไฟล์-2040-สีดำ_ [2 กุมภาพันธ์ 2561]

การประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

เพาะเห็ดแปรรูป บ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง

An evaluation of energy use in the production process of

Mushroom Cultivation Enterprise, Lamphang.

รวิภา ยงประยูร(RawiphaYongprayun)* ศิริกาญจน์ วิบูลย์ผล(SirikarnViboonpon)

จารุวรรณ ทินวัง(JaruwanThinwang) พรทิพา สิงห์แก้ว(PorntipaSingkaew)

สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

*Corresponding author. E-mail:sauraya_y@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดแปรรูปบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง ในงานวิจัยนี้ดำเนินการ2ขั้นตอนใหญ่ๆได้แก่การประเมินการใช้พลังงานและเลือกมาตรการในการประหยัดพลังงานด้วยการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ โดยการใช้เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” ที่ช่วยประหยัดพลังงานและลดแก๊ส LPG ลงโดยมีการต่อหัวแก๊สแบบ ทุ อิน วัน (แก๊สชีวมวล&แก๊สหุงต้ม)

เมื่อนำเครื่องผลิตแก๊สชีวมวลมาใช้ในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ดนางฟ้า จะเห็นได้ว่ามีปริมาณการใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) ร้อยละ 81.70 ส่วนแก๊สชีวมวลมีปริมาณการใช้อยู่ที่ร้อยละ 18.30 ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานจากเดิมที่ใช้ 122 ถึงต่อปี ลดลงเหลือ112 ถึงต่อปี คิดเป็นร้อยละ8 ของการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบ ซึ่งยังไม่เพียงพอที่จะนำไปขึ้นทะเบียนฉลากลดคาร์บอนที่ต้องมีการลดใช้พลังงานร้อยละ10ของกระบวนการผลิต ทั้งนี้ผู้วิจัยยังมีมาตรการประหยัดพลังงานที่นำเสนอแก่ผู้ประกอบการอีก2มาตรการได้แก่ การใช้ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และเตาผลิตไอน้ำสำหรับนึ่งก้อนเห็ด แบบท่อสามเกลอแต่ยังไม่ได้ประเมินผลการประหยัดพลังงานคาดว่าหลังจากการประเมินจะมีลดการใช้พลังงานได้มากกว่าร้อยละ10เพื่อนำไปขึ้นทะเบียนฉลากลดคาร์บอนให้กับผลิตภัณฑ์ในลำดับต่อไป

คำสำคัญ:การประเมินการใช้พลังงาน, กระบวนการผลิตเห็ดแปรรูป

Abstract

This research is aim to evaluate the energy use in the production process of the Mushroom Cultivating Enterprise in Lamphang Province. This research is conducted in two major stages: energy use assessment and energy saving measurement by

choosing modify device a Gas-fired biomass-fired power plant. The power generation" that saves energy and reduces LPG gas by combining the gas in one day (gas, biomass & LPG)

When using biomass gasifier in the process of producing mushroom mushrooms. LPG has the utilization rate of 81.70% while a biomass gas consumption is 18.30%. Which reduce the energy consumption from 122 barrels per year to 112 barrels per year so that the different value of energy used is 8% in the production of crackers. It is not enough to register a carbon reduction label that requires a 10 percent reduction in energy consumption. So that the researcher also other energy saving measures offered to entrepreneurs the first is use of Solar Dryers and the second is use of Steam Boilers for Steaming Mushrooms. After the evaluation, we will reduce the energy consumption by more than 10% to register carbon reduction products in the next order.

Keywords: Energy assessment, Processed mushrooms

บทนำ

ชุมชนบ้านสวนมีการเพาะเห็ดนางฟ้าจำหน่ายแต่ประสบกับปัญหาในเรื่องของราคาที่ตกต่ำ จึงทำให้ชุมชนมีการรวมตัวกันก่อตั้งวิสาหกิจชุมชนเพาะและแปรรูปเห็ด บ้านสวนแม่ทะ โดยได้มีการแปรรูปเห็ดเพื่อจำหน่าย โดยผลิตภัณฑ์แปรรูปจากเห็ดให้มีหลากหลายชนิด เช่น แหนมเห็ด ข้าวเกรียบเห็ด น้ำพริกเห็ด เห็ดแดดเดียว เห็ดสวรรค์ เห็ดทอดกรอบ แรกเริ่มก็นำจำหน่ายในชุมชน และอำเภอใกล้เคียงต่อมาได้มีหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนเข้าไปสนับสนุน จึงทำให้กลุ่มได้มีการพัฒนา รูปแบบการจำหน่ายให้ขยายตลาดเพิ่มขึ้น และได้ใช้ชื่อยี่ห้อเป็น “ตราครุฑกานต์” มีหลายอย่าง คือ เห็ดสวรรค์, เห็ดแดดเดียว เห็ดสามรส, เห็ดกรอบสมุนไพร, แหนมเห็ด, น้ำพริกเผาเห็ด, แคบหมูไร้มัน เห็ดนางฟ้าแปรรูป ตราครุฑกานต์ ซึ่งได้รับการตอบรับจากลูกค้าเป็นอย่างดี และมีการพัฒนาต่อยอดในเรื่องของบรรจุภัณฑ์ มาตรฐาน ที่ดีขึ้น สามารถนำไปจำหน่ายในห้างดังได้ และมีการขยายการจำหน่ายในลักษณะเครือข่าย เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับลูกค้าโดยกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง ซึ่งมีการดำเนินกิจกรรมการเพาะและแปรรูปเห็ดนางฟ้า ตั้งแต่ปี 2524 ถึง ปัจจุบัน รวม 36 ปี ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทอดและอบกรอบ ได้แก่ เห็ดสวรรค์, เห็ดสามรส, เห็ดแดดเดียว, เห็ดอบกรอบสมุนไพร, ข้าวเกรียบเห็ด และผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการนึ่งให้สุกแล้ว ได้แก่ แหนมเห็ด อีกทั้งใน

กระบวนการผลิตเห็ดนางฟ้าซึ่งเป็นแหล่งป้อนวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการแปรรูปแล้วแต่ใช้พลังงานความร้อนทั้งจากแก๊สหุงต้ม, ไม้ฟืน และซังข้าวโพดในปริมาณมหาศาลกลุ่มวิสาหกิจนี้มีแผนที่จะขยายตลาดไปสู่ต่างประเทศมากขึ้นจึงเล็งเห็นความสำคัญในการจัดทำข้อมูลการจัดการพลังงานของกระบวนการผลิตเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้รับ “ฉลากคาร์บอน



รูปที่ 1 กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพาะเห็ดและแปรรูปเห็ดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง



รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบเห็ดพร้อมบรรจุถุง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดแปรรูปบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง

ขอบเขตการวิจัย

การประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดแปรรูปบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังนี้

ประชากร

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านสวนแม่ทะ

กลุ่มตัวอย่าง	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน บ้านสวนแม่ทะ จังหวัดลำปาง
ตัวแปรต้น	การประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตข้าวเกรียบเห็ด
ตัวแปรตาม	ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการขอลาปลดคาร์บอน
ตัวแปรควบคุม	ชนิดเห็ดที่ใช้ในการแปรรูป
พื้นที่เป้าหมาย	กลุ่มวิสาหกิจชุมชน บ้านสวนแม่ทะ อำเภอมะทะ จังหวัดลำปาง

1) วิธีการเก็บข้อมูลการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	➔ ตรวจวัดค่าไฟฟ้าโดยเพาเวอร์มิเตอร์
	➔ ตรวจวัดความร้อนโดยการนับจำนวนถัง (โดย 1 ถัง = 4 ชม.)
วิธีการเก็บข้อมูล	➔ ประเภทเครื่องจักรห้องบรรจุตู้แช่แข็งใช้การตรวจวัดไฟฟ้าโดยเพาเวอร์มิเตอร์

2) การประเมินการใช้พลังงานเบื้องต้น

พลังงานไฟฟ้า คือ พลังงานที่เครื่องจักรใช้ในการทำงานระยะเวลาหนึ่งมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) หาได้จากสมการ

$$\text{พลังงานไฟฟ้า} = (\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{ระยะเวลา (ชั่วโมง)}) / 1000$$

ตารางที่ 1 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า (รายปี) ของกระบวนการแปรรูปเห็ด

รายการ/อุปกรณ์	การใช้พลังงานไฟฟ้า			
	การใช้งาน (h)	KWh/ปี	MJ/ปี	สัดส่วน
เครื่องผสม	125.0	19.5	70.2	0.2
เครื่องกวน	249.9	39.0	140.3	0.5
เครื่องบด	125.0	19.5	70.2	0.2
เครื่องหั่น	499.8	78.0	280.7	1.0
เครื่องสไลด์น้ำมัน	749.7	117.0	421.0	1.5
ตู้อบลมร้อน	499.8	78.0	280.7	1.0
ตู้แช่แข็ง 4 เครื่อง 2 บาน	12,000.0	1,872.0	6,739.2	23.2
ตู้แช่แข็ง 4 เครื่อง 3 บาน	35,136.0	5,481.2	19,732.4	68.1
เครื่องชั่ง 4 ชม.	746.0	116.4	419.0	1.4
เครื่องชั่ง 5 ชม.	932.5	145.5	523.7	1.8
เครื่องดูดสูญญากาศ	373.0	58.2	209.5	0.7
เครื่องพิมพ์วันที่	186.5	29.1	104.7	0.4
รวม		8,053.2	28,991.6	100.0

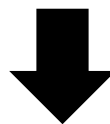
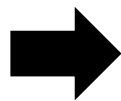
ตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานความร้อน(รายปี)ของกระบวนการแปรรูปเห็ด

เครื่องจักร	ระยะเวลา (h/ครั้ง)	อาทิตย์ (ถัง/ อาทิตย์)	เดือน (ถัง/เดือน)	ปี (ถัง/ปี)	พลังงานค่า ความร้อน (MJ.)
-แก๊สหุงต้มสำหรับทอด และนึ่งข้าวเหนียว	5	4	10	122	90,211.7

$$\text{LPG} = \frac{15\text{kg} \times 26.62 \text{ MJ/L}}{0.54\text{kg/L}}$$

$$= 739.44 \text{ MJ.}$$

เมื่อพิจารณามาตรการพื้นฐานในการอนุรักษ์พลังงาน อันประกอบด้วย การปรับเปลี่ยน พฤติกรรม(House Keeping) การปรับเปลี่ยนเครื่องจักร/อุปกรณ์บางส่วน(Process Improvement) และการเปลี่ยนเครื่องจักร/กระบวนการผลิตใหม่(Machine Charge จึงได้ใช้มาตรการ ปรับเปลี่ยน เครื่องจักรและอุปกรณ์บางส่วนโดยมีการนำนวัตกรรมเชิงพลังงานในกระบวนการผลิตจำนวน 1 เทคโนโลยี ได้แก่ เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” ถูกนำมาใช้ในการทอด ข้าวเหนียวเห็ดซึ่งต่อเข้ากับหัวแก๊สแบบ ทู อิน วัน (แก๊สชีวมวล&แก๊สหุงต้ม)





(ก)

(ข)

รูปที่ 3 ภาพแสดงองค์ประกอบของหัวแก๊สแบบ ทู อิน วัน ในส่วนที่ 2

(ก) มุมด้านข้างของตำแหน่งการติดตั้งหัวเผาแก๊ส (ข) ภาพส่วนประกอบของเตาแก๊สแรงดันสูง

การคำนวณสัดส่วนแก๊ส LPG และสัดส่วนแก๊สชีวมวล ได้ดังนี้

- เวลาในการทดลอง 1 ชม. 30 นาที

แก๊สชีวมวล = $40 \text{ m}^3/\text{h} = 40 + 20 = 60$ ลบ.เมตร

(1 ลบ.เมตร = 1,000 Kg.)

แก๊ส LPG = 0.14463 Kg.

1 ลิตร ใช้ LPG = 0.54 Kg.

ค่าความร้อน LPG = 49,822.92 KJ/Kg.

ชีวมวล = 1,921.98 KJ/Kg.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.14463 \text{ Kg.}}{0.54 \text{ Kg/L}} = 0.2678 \text{ ลิตร} \\
 1 \text{ ลิตร} &= 1,000 \text{ ลบ.เมตร} \\
 &= 1,000 \times 0.2678 \text{ ลบ.เมตร} \\
 &= 267.8 \text{ ลบ.เมตร} \\
 \text{ถ้า } 100 \% &= 60 + 267.8 \text{ ลบ.เมตร} \\
 &= 327.8 \text{ ลบ.เมตร} \\
 \text{แก๊สชีวมวล} &= \frac{60 \text{ ลบ.เมตร}}{327.8 \text{ ลบ.เมตร}} = 0.1830 \times 100\% \\
 &= 18.30\% \quad \Rightarrow \quad \text{ใช้ฟืนและซังข้าวโพด 10 กิโลกรัม/1} \\
 \text{ชั่วโมงครึ่ง} & \\
 \text{แก๊ส LPG} &= 100 - 18.30\% = 81.70\% \quad \Rightarrow \quad \text{คิดเป็น 3.48 บาท}
 \end{aligned}$$

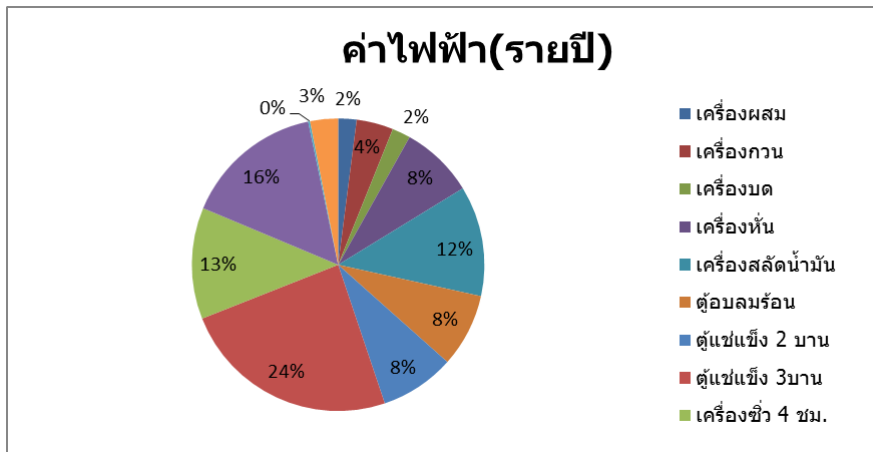
ตารางที่ 3 แสดงค่าพลังงานความร้อน(รายปี)ของกระบวนการแปรรูปเห็ดเมื่อใช้หัวแก๊ส
แบบ ทู อิน วัน (แก๊สชีวมวล&แก๊สหุงต้ม)

เครื่องจักร	ระยะเวลา (h/ครั้ง)	เดือน (ถึง/เดือน)	ปี (ถึง/ปี)	พลังงานค่า ความร้อน(MJ.)
แก๊สหุงต้ม+ชีวมวล	3.268	9.18	112	82,817.28

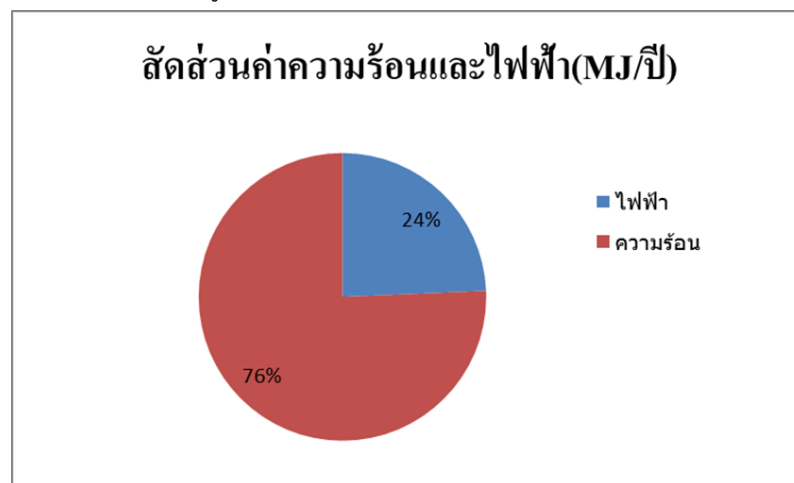
หมายเหตุ 3.268 คิดได้จาก $\frac{81.7\% \times 4 \text{ ชม.}}{100\%} = 3.268 \text{ h/ครั้ง}$

สรุปและอภิปรายผล

จากการสำรวจเพื่อประเมินการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจเพาะเห็ดแปรรูปบ้านสวนแม่ทะ จ.ลำปาง ประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์จากการแปรรูปข้าวเกรียบเห็ด โดยทำการสำรวจข้อมูลตั้งแต่วันที่ 20 พฤษภาคม -15 มิถุนายน พ.ศ. 2560 พบว่า มีสัดส่วนการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า(รูปที่3)และใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม 122 ถึง/ปี เมื่อมีการนำนวัตกรรมเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหลลง “รุ่นสุดพลัง” มาใช้ พิจารณามาตรการพื้นฐานในการอนุรักษ์พลังงาน การเปลี่ยนเครื่องจักร/กระบวนการผลิตใหม่(Machine Charge) สามารถลดได้ 8 ถึง/ปี เหลือ112 ถึง/ปี และให้ค่าพลังงาน 2,3004.8 กิโลวัตต์



รูปที่ 4 สัดส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 5 สัดส่วนค่าความร้อนและไฟฟ้ายรายปี

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้ถูกล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของผศ.ดร. รวิภา ยงประยูร อาจารย์ที่ปรึกษาวิจัย และอาจารย์ วราคม วงศ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการทำดำเนินงานและ ขอขอบคุณกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปเห็ดบ้านสวนแม่ทะ จังหวัดลำปาง ที่ให้ข้อมูลและสถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวซึ่งเปิดโอกาสให้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้ทำวิจัยเสมอจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- คณิงเดช พวงมาลา และ สถาพร คำตุ้ย.การออกแบบและสร้างหัวเผาเชื้อเพลิงแ่งมันสำปะหลัง.
ปริญญานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ภาควิชาชีพ เชียงใหม่, 2555
- นัตยา เจริญสุข และ ยุทธนา ศรีผา. การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการถ่ายเทความร้อนในหัวเผา
ถ่าน้ำมันพืชไขแล้ว. ปริญญานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา
วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2556
- อนุวัฒน์ หอมระรื่น. การพัฒนาสมรรถนะของหัวเผาวัสดุพูนที่มีการเผาไหม้เป็นลำดับขั้น สำหรับ
เชื้อเพลิงผสมโดยไม่มีการสเปรย์ . ปริญญานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2556
- ปฏิพัฒน์ ยอดดี นิธิพัฒน์ ตลิ่งจิตร การพัฒนาสมรรถนะเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงชีวมวลแบบไหล
ลง “รุ่นสุดพลัง” สำหรับการใช้งานกับเศษซังข้าวโพดทดแทนแก๊สหุงต้มในกลุ่มวิสาหกิจ
ชุมชน จังหวัดลำปาง สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง 2560
- Kanuengdech Puangmala and Sathapron Kamtui Design and construction of fuel
burners for cassava starch. Bachelor of Science Program in Industrial
Engineering Mechanical Technology, Rajamangala University of Technology
Lanna, Payap University, Chiang Mai, 2012
- Nattaya Jarurnpon and Yuttana Sornpha Study on the effect of heat transfer on
burners. Vegetable oil is used. Bachelor Degree Program in Engineering
Mechanical Engineering, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,
2013
- Anuwat Homraruen Development of the capacity of combustibile porous burners for
mixed fuel without sprays. Master's Degree Program in Mechanical
Engineering, University Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,
2013
- Patipat Yoddee , Nithipat Taluengjit Capacity Development of Gas-fired Biomass
Fuels "Power model" for use with corn waste to replace LPG in the
community enterprise in Lampang area of energy technology. Lampang
Rajabhat University 2018

การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่ใช้ลมในการพา ประจุที่กระบวนการบัดกรีทรานส์ซีฟเวอร์

A Study of Suitable Factors for Fan-less Ionizer Used in Transceiver Soldering Process

ธีรวุฒิ พูนอ้อย(Thirawuth Poon-eoi)^{1*} มณฑลีส ศาสนันนันทน์(Montalee Sasananan)^{2*}

^{1*} สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Corresponding author. E-mail: snoop_freya@hotmail.com

^{2*} ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Corresponding author. E-mail: nmontalee@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อศึกษาสถานะของพารามิเตอร์ของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่ใช้ลมในการพาประจุไฟฟ้าไปยังพื้นที่บัดกรีผลิตภัณฑ์ ที่จะทำได้ค่าผลตอบแทนที่ดีที่สุด จากผลของ Screening Experiments โดยการใช้ Full Factorial Design (2^3) ในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองซึ่งมีพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 3 ตัว พบว่า ร้อยละของการปล่อยประจุบวก, ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบ และมุมในการติดตั้งเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบแทนของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต (อันได้แก่ค่าประจุไฟฟ้าสถิตคงเหลือในพื้นที่พื้นบัดกรีผลิตภัณฑ์) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ เมื่อนำพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่าผลตอบแทนมาออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองอีกครั้งโดยใช้เทคนิค Response Surface Methodology แบบ Box-Behnken Design จะได้สมการถดถอยของพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับค่าผลตอบแทนของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต คือ $Y = -4454 + 127.77A - 30.32B + 2.944C - 0.9114A^2 - 0.4050B^2 - 0.07975C^2 + 0.5305AB$ โดยได้คำตอบของสถานะที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าประจุไฟฟ้าสถิตคงค้างในพื้นที่พื้นบัดกรีผลิตภัณฑ์ (Y) เข้าใกล้ศูนย์ที่สุดคือ ร้อยละของการปล่อยประจุบวก (A) ที่ 65 เปอร์เซ็นต์, ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบ (B) ที่ 1 เฮิร์ต และมุมในการติดตั้งเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต (C) ที่ 40 องศา เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมเฉลี่ยมีค่าอยู่ที่ 24.675 โวลต์ ลดค่าลงไปที่ -5.332 โวลต์

คำสำคัญ: ไฟฟ้าสถิต กระบวนการบัดกรี การออกแบบวิเคราะห์การทดลอง วิธีการพื้นผิว
ผลตอบแทน การทดลองแบบแฟคทอเรียล

Abstract

This research applied design and analysis of experiments to identify suitable condition of parameters of fan-less ionizer at soldering process of transceiver manufacturing. By adopting screening experiments using full factorial design (23) which includes 3 factors, it was found that the factors which had significant impact on the response (i.e. ion balance voltage of fan-less ionizer) at $\alpha = 0.05$ were percentage of positive ion release, frequency of ion pulse, and angle of fan-less ionizer installation. When these parameters were subject to further design and analysis of experiments using response surface methodology technique with Box-Behnken design, it was found that the regression equation of parameters relating to the response of fan-less ionizer was $Y = -4454 + 127.77A - 30.32B + 2.944C - 0.9114A^2 - 0.4050B^2 - 0.07975C^2 + 0.5305AB$. It was concluded that the suitable condition yielding ion balance voltage at near zero was as follows: percentage of positive ion release (A) = 65 percent, frequency of ion pulse (B) = 1 Hertz, and angle of fan-less ionizer installation (C) = 40 degree. When these parameters were applied in the actual process, it was found that the ion balance voltage of fan-less ionizer significantly decreased from 24.675 volt to -5.332 volt.

Keywords: Electrostatic, Soldering Process, Design and Analysis of Experiment, Response Surface Methodology, Full Factorial Design

บทนำ

กระบวนการโซลเดอร์ออพติก (Solder Optic) เป็นกระบวนการซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการเชื่อมต่อชุดรับและส่งสัญญาณแสงเข้ากับแผงวงจร PCBA ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรทางไฟฟ้ารวม (Integrated Circuits หรือ ICs) จำนวนมากเข้าด้วยกัน โดยใช้ตะกั่วอุตสาหกรรมเป็นตัวยึดอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน ซึ่งผู้ประกอบการผลิตมักจะวางขา (Lead) ของชุดรับและส่งสัญญาณแสงลงบนแพด (Pad) ของแผ่นวงจรพิมพ์ (PCBA) จากนั้นทำการหีบตะกั่วมาวางบนขาของชุดรับและส่งสัญญาณแสง จากนั้นนำหัวแร้งจี้หรือกดลงไปที่ตะกั่ว เมื่อตะกั่วได้รับความร้อน ณ จุดหลอมเหลวของวัสดุ (Melting Point) ตะกั่วจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นของเหลว และเคลือบปกคลุมจนทั่วขาของชุดรับและส่งสัญญาณแสง และแพดของวงจรพิมพ์ ในขั้นตอนนี้อาจพบว่าการประกอบเหล่านี้ถูกกระทำโดยพนักงานซึ่งเป็นแรงงานมนุษย์ โดยใช้มือหีบจับชิ้นงานต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกัน เนื่องจากอุปกรณ์สำคัญต่างๆเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อไฟฟ้า

สถิต (Electro Static Sensitivity) เป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าของประจุไฟฟ้าบนตัววัสดุทุกชิ้นให้เป็นศูนย์ หรือมีค่าอยู่ในช่วง -35 ถึง +35 โวลต์อยู่ตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้วงจรไฟฟ้า (Electric Circuit) เกิดการเสียหายอันเนื่องมาจากปริมาณของแรงดันของไฟฟ้าสถิตที่มากเกินไปเกินกว่าเส้นทางเดินของวงจรไฟฟ้า (Circuit Line) บนตัววงจรพิมพ์จะทนทานและรับได้ (Over Voltage Phenomena) วิศวกรผู้ควบคุมกระบวนการผลิตจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการควบคุมการถ่ายเทของประจุไฟฟ้าสถิตระหว่างวัสดุสองชนิด วิธีสากลที่หลาย ๆ บริษัทเลือกใช้ และถือได้ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ คือ การติดตั้งเครื่องรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิต (Ionizer) ในพื้นที่ปฏิบัติงานให้เป็นกลาง (0 โวลต์ หรือเข้าใกล้ 0 โวลต์) สำหรับบริษัทที่ผู้วิจัยได้กำหนดค่ามาตรฐานของปริมาณไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในขณะปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตเอาไว้ที่ -100 ถึง +100 โวลต์ แต่กระนั้นเครื่องมือรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใช้ลมเป่า (Ionizer with fan) ก็ส่งผลเสียข้างเคียงดังต่อไปนี้

1. กระบวนการโซลเดอร์ออปปิดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความร้อนจากหัวแร้งในการทำให้ตะกั่วหลอมละลายที่อุณหภูมิ 350 ถึง 412 องศาเซลเซียส แต่อันเนื่องมาจากแรงลมของเครื่องรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใช้ลมเป่า (Ionizer with fan) ที่ไม่เพียงแต่นำพาประจุไฟฟ้าสถิตบวกและลบมายังพื้นที่ปฏิบัติงาน หากแต่ลมที่เครื่องรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใช้ลมเป่ายังนำพาเอาอุณหภูมิห้องที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียสมายังพื้นที่บัดกรีตะกั่ว ส่งผลให้อุณหภูมิที่ปลายหัวแร้งลดลง ทำให้ตะกั่วไม่หลอมเหลวอย่างสมบูรณ์

2. ในกระบวนการบัดกรีจะเกิดไอระเหยของน้ำประสาน (Flux) เมื่อน้ำประสานที่อยู่ในแกนกลางของลวดบัดกรี ได้รับความร้อนจากปลายหัวแร้ง จะทำให้น้ำประสานเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ ณ อุณหภูมิที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ (Gas transition temperature : Tg) เกิดเป็นไอระเหยขึ้นในพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งโดยปกติแล้วไอระเหยของน้ำประสานที่เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานจะถูกดูดโดยท่อดูดควันพิษ (Exhaust tube) แต่พอลมจากเครื่องรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใช้ลมเป่าพัดมายังพื้นที่บัดกรี ส่งผลให้ไอระเหยของน้ำประสานถูกพัดออกมานอกท่อดูดควันพิษ และไอระเหยบางส่วนก็ถูกสูดเข้าสู่ทางเดินหายใจของพนักงานประกอบชิ้นงาน ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ

3. ลมจากเครื่องรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใช้ลมเป่ายังพัดนำความเย็นจากอุณหภูมิห้องที่ประมาณ 20 องศาเซลเซียสไปยังพนักงานผู้ปฏิบัติงานอีกด้วย เมื่อพนักงานปฏิบัติงานที่กระบวนการโซลเดอร์ออปปิดต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานานจะทำให้พนักงานรู้สึกหนาวเย็น ในบางรายมีอาการเป็นไข้เรื้อรัง และมีอาการแสบตาจากพัดลมของเครื่องรักษาสสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใช้ลมเป่า ซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดต้อลมได้ในระยะยาวได้

เพื่อแก้ไขปัญหาทั้ง 3 ข้อนี้ ผู้วิจัยได้ติดต่อและจัดหาเครื่องรักษาสมดุลของประจุไฟฟ้าสถิตแบบใหม่ โดยไม่ใช้พัลลภในการนำพาเอาประจุไฟฟ้าสถิตด้านบวกและลบมายังพื้นที่ปฏิบัติงาน ซึ่งนำไปสู่ งานวิจัยขั้นนี้เพื่อที่จะหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบใหม่นี้ ที่ยังไม่เคย ถูกพิจารณามาก่อนในกระบวนการผลิต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่มีลมเป่าที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Balance voltage) ในขณะเปิดใช้งานเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่มีลมเป่า
2. เพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมของปัจจัย และสามารถนำมากำหนดเป็นค่าควบคุมของ กระบวนการ อันได้แก่ค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Balance voltage) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของ แผนกควบคุมไฟฟ้าสถิตของโรงงาน

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ เริ่มจากการศึกษารายละเอียดของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่มีลมเป่า ซึ่งถือได้ว่าเป็นนวัตกรรมใหม่สำหรับบริษัทที่ทำการศึกษา และศึกษาวิธีการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Balance voltage) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของแผนกควบคุมไฟฟ้าสถิตของบริษัทที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Balance voltage) โดยคัดกรองปัจจัยด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ สุ่มอย่างสมบูรณ์ ในการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง จะใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k และวิธีพื้นผิวตอบสนอง สุดท้ายทำการตรวจสอบและยืนยันผลการทดลอง เพื่อประเมินและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Balance voltage) ของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตหลังการปรับปรุงพารามิเตอร์ของแต่ละปัจจัย

ผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการปัจจุบันของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตก่อนการปรับปรุงพารามิเตอร์พบว่าค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้างอยู่ที่ 24.675 โวลต์, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 4.909 และดัชนีความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ 2.264 จากตัวอย่างจำนวน 30 ข้อมูล (ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตวันละ 1 ครั้งก่อนเริ่มใช้งานเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต) ดังแสดงในตารางที่ 1

จากนั้นทำการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ปัจจุบันที่ใช้งานอยู่ในกระบวนการทำงานของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต พบค่าระดับในปัจจุบันเป็นไปตามตารางที่ 2

ตาราง 1 ค่าเฉลี่ย, ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ C_{pk} ของตัวอย่างสำหรับค่าผลตอบสนองของค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Balance voltage) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก่อนทำการปรับปรุง

ผลตอบสนองที่ ทำการศึกษา	ค่าการผลิตจริง			ข้อกำหนดของกระบวนการ			
	ค่าเฉลี่ย ตัวอย่าง	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน ตัวอย่าง	C_{pk}	ค่า ต่ำสุด	ค่า เป้าหมาย	ค่าสูงสุด	หน่วย
แรงดันไฟฟ้าสถิตคง ค้าง (Balance voltage)	24.675	4.909	2.264	-35	0	35	โวลต์

ตาราง 2 ตารางแสดงระดับของปัจจัยที่ใช้งานอยู่ในกระบวนการปัจจุบัน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด	ปัจจัย	ระดับที่ใช้งานปัจจุบัน	หน่วยวัด
ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่อง สลายไฟฟ้าสถิต (Balance Percent Positive)	X_1	71	Percentage (%)
ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวก/ลบของ เครื่องสลายไฟฟ้าสถิต (Ion Frequency)	X_2	13	Hertz (Hz)
มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์ (Ionizer Angle)	X_3	45	Degree ($^{\circ}$)

จากนั้นทำการระดมสมองกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้างของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่ใช้ลมพาประจุ ทำให้ได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงในตารางที่ 3 ในการหาระดับที่เป็นไปได้สำหรับการทดลองต่อไปนั้น ทำได้โดยการศึกษาสมรรถนะและวิธีการปรับตั้งค่าเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต ดังแสดงในตารางที่ 3

ตาราง 3 ตารางแสดงช่วงระดับของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด	สัญลักษณ์	การปรับตั้งความละเอียด	ช่วงของการปรับต่ำสุด-สูงสุดของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	หน่วยวัด	ลักษณะของปัจจัย	ผลตอบสนอง
ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต (Balance Percent Positive)	X_1	ปรับตั้งค่าตัวเลขได้ครั้งละ 5 ระดับ (ตัวเลขจำนวนเต็มภายในช่วงที่กำหนด)	65 – 80 (65, 70, 75, 80)	%	เชิงปริมาณ	ค่าประจุไฟฟ้าสถิตคงค้าง
ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวก/ลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต (Ion Frequency)	X_2	ปรับตั้งค่าตัวเลขได้ครั้งละ 5 ระดับ (ตัวเลขจำนวนเต็มภายในช่วงที่กำหนด)	1 – 20 (1, 5, 10, 15, 20)	Hz	เชิงปริมาณ	
มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์ (Ionizer Angle)	X_3	ปรับตั้งค่าตัวเลขได้ครั้งละ 10 ระดับ (ตัวเลขจำนวนเต็มภายในช่วงที่กำหนด)	0 – 50 (0, 10, 20, 30, 40, 50)	degree (°)	เชิงปริมาณ	

ทำการออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์โดยการเปลี่ยนแปลงระดับต่าง ๆ ทีละ 1 ปัจจัย เพื่อสังเกตและวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต จากนั้นใช้โปรแกรมทางด้านสถิติในการพิจารณาถึงอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อผลตอบสนองเพื่อสังเกตว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต โดยออกแบบการทดลองตามตารางที่ 4, 5 และ 6 สำหรับปัจจัยที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

ตาราง 4 ตารางออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์สำหรับปัจจัยร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	สัญลักษณ์ของปัจจัย	ระดับที่เปลี่ยนแปลง	ระดับที่ควบคุมของปัจจัยอื่น		
			X ₁	X ₂	X ₃
ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	X ₁	65%	ทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยที่ 1	13	45
		70%			
		75%			
		80%			

ตาราง 5 ตารางออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์สำหรับปัจจัยความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวก/ลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	สัญลักษณ์ของปัจจัย	ระดับที่เปลี่ยนแปลง	ระดับที่ควบคุมของปัจจัยอื่น		
			X ₁	X ₂	X ₃
ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวก/ลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	X ₂	1 Hz	71	ทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยที่ 2	45
		5 Hz			
		10 Hz			
		15 Hz			
		20 Hz			

ตาราง 6 ตารางออกแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์สำหรับปัจจัยมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	สัญลักษณ์ของปัจจัย	ระดับที่เปลี่ยนแปลง	ระดับที่ควบคุมของปัจจัยอื่น		
			X ₁	X ₂	X ₄
มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์	X ₃	0 cm	71	13	ทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยที่ 3
		10 cm			
		20 cm			
		30 cm			
		40 cm			
		50 cm			

นำค่าผลตอบแทนที่ได้จากการวัดค่าด้วยเครื่องมือทางไฟฟ้าสำหรับแต่ละปัจจัยไปประมวลผลด้วยโปรแกรมทางด้านสถิติ เพื่อหาค่า P-Value ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ ได้ค่าตามตารางที่ 7 ผลที่ได้คือการเปลี่ยนแปลงปัจจัยร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต และ มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์ มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของผลตอบแทน ส่วนการเปลี่ยนระดับของปัจจัยความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต ไม่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของผลตอบแทน

ตาราง 7 ตารางแสดงค่า P-value สำหรับปัจจัยที่สนใจศึกษาที่ระดับ $\alpha = 0.05$

ปัจจัย	สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ลักษณะ ของปัจจัย	ค่า P-Value ของผลตอบแทน ประจุไฟฟ้าสถิตคงค้าง (Y)
ร้อยละของการปลดปล่อยประจุ บวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	X_1	เชิงปริมาณ	0.003
ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวก และลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	X_2	เชิงปริมาณ	0.845
มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต กับผลิตภัณฑ์	X_3	เชิงปริมาณ	0.000

เมื่อทราบข้อมูลเบื้องต้นของกระบวนการแล้ว ต่อไปทำการเลือกแบบการทดลอง โดยที่พารามิเตอร์หลักมีแค่ 3 ตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกทำการออกแบบการทดลองแบบ full factorial design (มี 2 ระดับ และ 3 ปัจจัย จึงได้ $2^3 = 8$ วิธีการ) ซึ่งแสดง design generators $F = \pm ABC$ จากนั้นทำการจัดเรียงลำดับในการทดลองของ low และ high level ของทั้ง 3 ปัจจัย จากนั้นทำการกำหนดระดับ low และ high ของแต่ละปัจจัยที่ทำการศึกษาตามตารางที่ 8 โดยพิจารณาจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าผลตอบแทนเมื่อระดับของแต่ละพารามิเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงไป

ตาราง 8 ตารางแสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษา

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1. ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	65	70	%
2. ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	1	5	Hertz
3. มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์	30	40	Degree

ทำการทดลองและเก็บค่าผลตอบสนองของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตตามตารางที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้การทำซ้ำที่ 5 ครั้งต่อ 1 วิธีปฏิบัติ ซึ่งค่าผลตอบสนองที่ได้แสดงตามตารางที่ 9

ตาราง 9 ตารางแสดง run การทดลอง และการเก็บข้อมูลของค่าตอบสนอง

Run	ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์	ประจุไฟฟ้าสถิตคงค้าง					
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
1	70	5	40	38	40	41	37	36	39
2	70	5	30	65	73	63	60	62	65
3	70	1	40	21	19	15	25	17	20
4	70	1	30	49	44	58	47	56	51
5	65	5	40	0	-2	1	1	-3	-1
6	65	5	30	27	18	26	32	25	26
7	65	1	40	-6	-4	-5	1	-6	-4
8	65	1	30	21	25	18	21	25	22

ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองด้วยโปรแกรมทางสถิติตามตารางที่ 10 จากนั้นพิจารณารูปของอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วม เพื่อสังเกตแนวโน้มความสัมพันธ์ของปัจจัยทั้ง 3 ตัว

ตาราง 10 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

General Factorial Regression: Ion balance versus Percent positive, Frequency, Angle

Factor Information

Factor	Levels	Values
Percent positive	2	65, 70
Frequency	2	1, 5
Angle	2	30, 40

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	19618.6	2802.7	180.34	0.000
Linear	3	19166.6	6388.9	411.09	0.000
Percent positive	1	10671.3	10671.3	686.63	0.000
Frequency	1	1039.3	1039.3	66.87	0.000
Angle	1	7456.1	7456.1	479.76	0.000
2-Way Interactions	3	436.0	145.3	9.35	0.000
Percent positive*Frequency	1	407.6	407.6	26.23	0.000
Percent positive*Angle	1	16.4	16.4	1.06	0.312
Frequency*Angle	1	12.0	12.0	0.77	0.387
3-Way Interactions	1	16.0	16.0	1.03	0.318
Percent positive*Frequency*Angle	1	16.0	16.0	1.03	0.318
Error	32	497.3	15.5		
Total	39	20116.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.94226	97.53%	96.99%	96.14%

จากผลการทดลองเบื้องต้นทำให้ทราบว่าทั้ง 3 พารามิเตอร์มีนัยสำคัญต่อค่าผลตอบสนองของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต ดังนั้นผู้วิจัยได้นำพารามิเตอร์ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมต่อไป โดยหลังจากขั้นตอนการสุกรีนนิ่งแฟคเตอร์เพื่อกรองปัจจัยและเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลแล้ว ผู้วิจัยได้นำทั้ง 3 พารามิเตอร์มาออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design โดยกำหนด center point = 3 เพื่อวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองระหว่างตัวแปรกับค่าตอบสนอง และหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยต่อไป ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองให้กับพารามิเตอร์แต่ละตัวดังแสดงในตารางที่ 11

ตาราง 11 แสดงระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาพื้นผิวดตอบสนอง

พารามิเตอร์ของเครื่องมือสลายไฟฟ้า สถิต	ระดับ			หน่วย
	Low (-)	Medium (0)	High (+)	
1. ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวก ของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	65	70	75	%
2. ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวก และลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	1	5	10	Hertz
3. มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับ ผลิตภัณฑ์	30	40	50	Degree

จากนั้นทำการออกแบบการทดลองโดยการเพิ่ม 3 center points สำหรับระบบที่ทำการศึกษาปัจจัย 3 ตัว ทำให้ได้ทั้งหมด 27 การทดลองสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวดตอบสนองเพื่อไม่ให้เกิดความลำเอียงในการทดลอง ลำดับในการทำการทดลองจะเป็นไปแบบสุ่มโดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ จะได้ผลการเก็บข้อมูลการทดลองแสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงการเก็บข้อมูลการทดลอง

Run	A (% positive)	B (Frequency)	C (Angle)	Y (Ion balance)					
				1	2	3	4	5	ave
1	65	1	30	27	22	15	27	27	24
2	65	1	40	-14	-2	-10	-1	-9	-7
3	65	1	50	-45	-47	-46	-52	-44	-47
4	65	5	30	38	31	26	21	24	28
5	65	5	40	-3	-2	5	13	-2	2
6	65	5	50	-46	-39	-36	-41	-47	-42
7	65	10	30	18	21	15	17	12	16
8	65	10	40	-12	-2	-9	-13	-5	-8
9	65	10	50	-40	-53	-60	-48	-47	-49
10	70	1	30	54	43	51	51	51	50
11	70	1	40	15	28	17	16	20	19

Run	A (% positive)	B (Frequency)	C (Angle)	Y (Ion balance)					
				1	2	3	4	5	ave
12	70	1	50	-29	-29	-20	-29	-22	-26
13	70	5	30	63	69	69	68	55	65
14	70	5	40	39	39	46	35	40	40
15	70	5	50	-1	-5	-5	-1	-3	-3
16	70	10	30	65	67	73	76	70	70
17	70	10	40	43	42	41	48	39	43
18	70	10	50	-1	0	3	-6	1	-1
19	75	1	30	31	30	26	18	24	26
20	75	1	40	-2	0	8	1	3	2
21	75	1	50	-35	-34	-35	-38	-39	-36
22	75	5	30	60	50	54	50	66	56
23	75	5	40	35	33	24	24	22	28
24	75	5	50	-8	-9	-13	-15	-12	-11
25	75	10	30	66	79	68	73	69	71
26	75	10	40	47	46	46	56	59	51
27	75	10	50	3	-1	10	-1	1	2

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปในทางสถิติ โดยมี
เทอมของ A, B, C, A^2 , B^2 , C^2 และ AB เป็นเทอมที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อผลตอบสนองของ
เครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต ทำให้ได้โมเดลของสมการคณิตศาสตร์ คือ $Y = -4454 + 127.77A - 30.32B + 2.944C - 0.9114A^2 - 0.4050B^2 - 0.07975C^2 + 0.5305AB$

เมื่อ $Y =$ ประจุไฟฟ้าสถิตคงค้าง

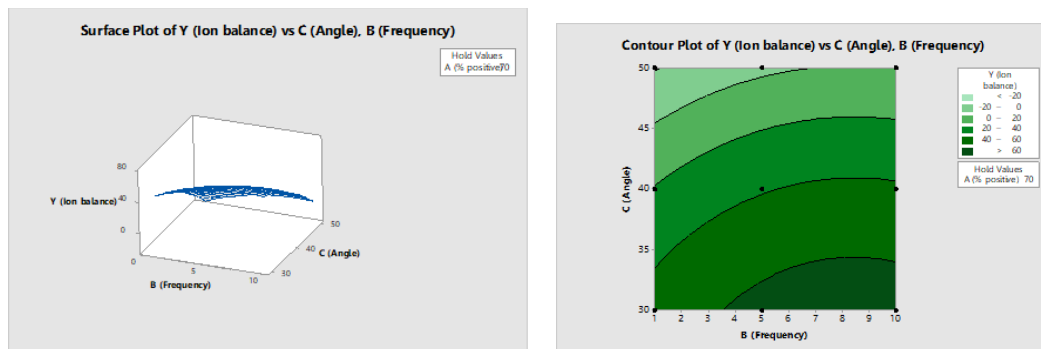
A = ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

B = ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

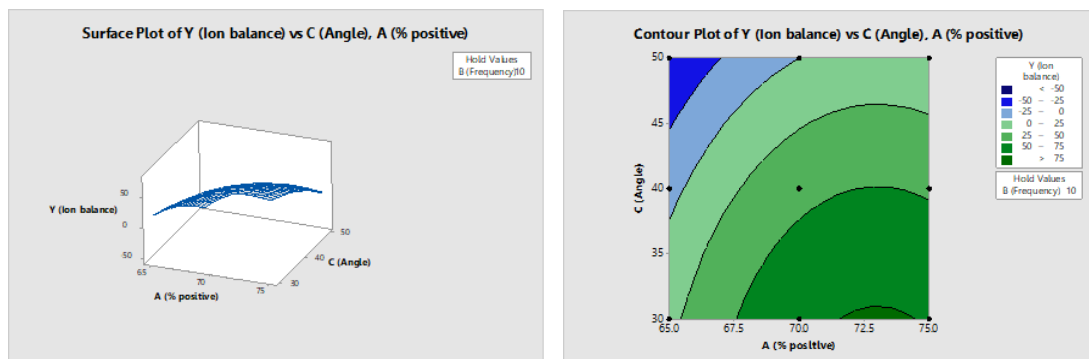
C = มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาจากกราฟ surface plot และ contour plot จากภาพที่ 1-3 พบว่าค่าไฟฟ้า
สถิตคงค้างจะเข้าใกล้ค่าศูนย์ที่สุดเมื่อร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต
เข้าใกล้ 65 เปอร์เซ็นต์, ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตเข้าใกล้

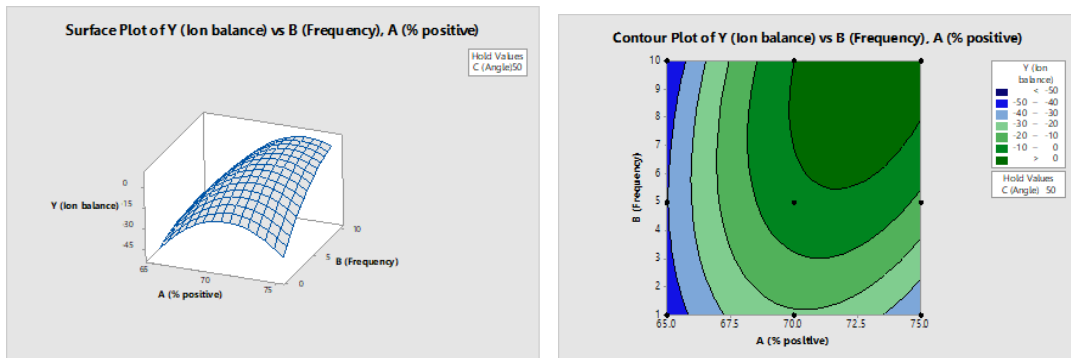
1 เอิร์ต และมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 40 องศา ซึ่งมีข้อมูลสอดคล้องกับการวิเคราะห์กราฟของอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมตามภาพที่ 4 และ 5 พบว่าค่าไฟฟ้าสถิตคงค้างจะเข้าใกล้ศูนย์เมื่อร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตอยู่ในระดับต่ำ, ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตอยู่ในระดับต่ำ และมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่างค่ากลางกับค่าสูง



ภาพ 1 แสดงพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) ของอิทธิพลร่วมและกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับตัวงานกับความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

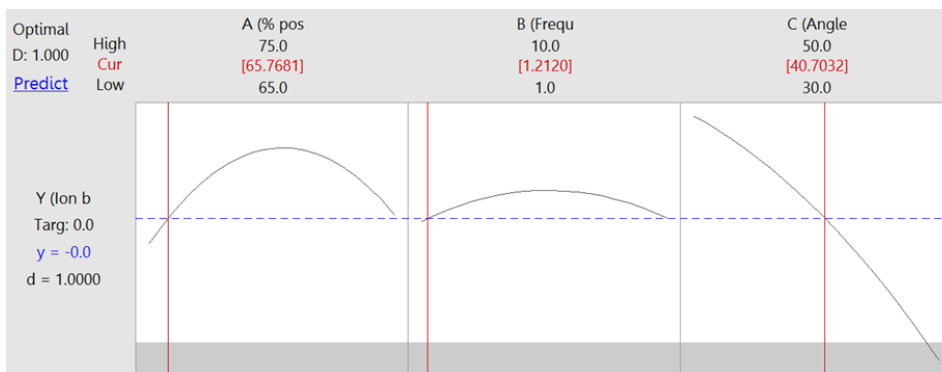


ภาพ 2 แสดงพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) ของอิทธิพลร่วมและกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์กับร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต



ภาพ 3 แสดงพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) ของอิทธิพลร่วมและกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

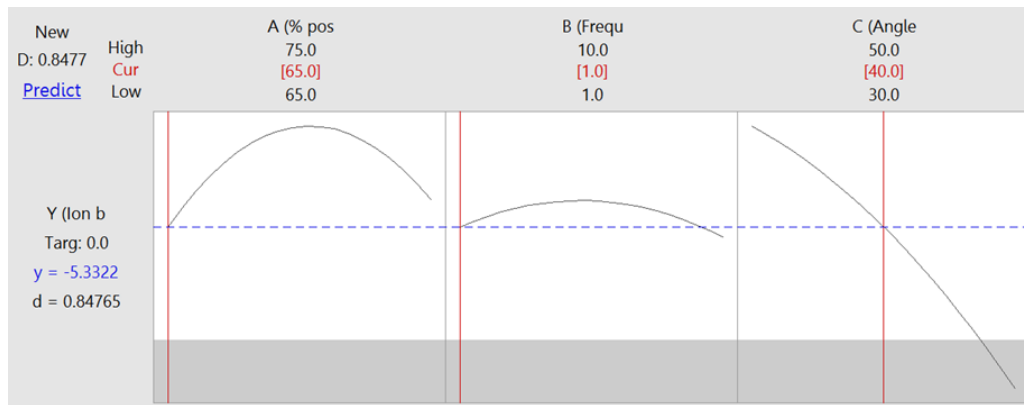
จากภาพที่ 4 พบว่าจุดที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ได้ฟังก์ชันความพึงพอใจ = 1 คือปรับร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตที่ 65.768 เปอร์เซ็นต์, ปรับความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตที่ 1.212 เฮิร์ต และปรับมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์ที่ 40.703 องศา



ภาพ 4 กราฟแสดงจุดตัดที่ทำให้ค่าไฟฟ้าสถิตคงค้างเข้าใกล้ศูนย์ที่สุด

แต่เนื่องจากในสภาพการทำงานจริงเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตไม่สามารถปรับพารามิเตอร์ให้ละเอียดได้ตามผลสรุปจากโปรแกรมได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับหาจุดที่เหมาะสมใหม่ เพื่อให้สามารถปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตได้จริง แล้วทำให้ได้ค่าไฟฟ้าสถิตคงค้างที่ใกล้เคียงศูนย์ที่สุด และมีค่าความพึงพอใจ (Desirability : D) มากที่สุดดังแสดงในภาพที่ 5 ดังนั้นจุดที่เหมาะสมของการปรับระดับปัจจัยทั้ง 3 ของการทดลองนี้คือปรับร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกที่ 65 เปอร์เซ็นต์, ปรับความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบที่ 1 เฮิร์ต และปรับมุมระหว่าง

เครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์ที่ 40 องศา ซึ่งจะทำให้ได้ค่าไฟฟ้าสถิตคงค้างเฉลี่ยอยู่ที่ -5.332 โวลต์ และค่าความพึงพอใจอยู่ที่ 0.847



ภาพ 5 กราฟแสดงจุดตัดที่เหมาะสมในการปรับค่าพารามิเตอร์

อย่างไรก็ดีในการปฏิบัติงานจริงเราสามารถปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าใหม่ตามทีโปรแกรมคำนวณได้ แต่จะต้องมีการเก็บข้อมูลพร้อมทั้งสรุปผลการเปรียบเทียบต่อไป

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์สำหรับเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไฟฟ้าสถิตคงค้างในพื้นที่บัดกรีชิ้นงาน และต้องการทราบถึงจุดที่เหมาะสมของพารามิเตอร์สำหรับเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณไฟฟ้าสถิตคงค้างในพื้นที่บัดกรีชิ้นงานคือ ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต, ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต และมุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์
- ผลการวิจัยหลังจาก screening factor experimental โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ response surface methodology ทำให้ได้สมการถดถอยของพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณไฟฟ้าสถิตคงค้าง ดังนี้

$$Y = -4454 + 127.77A - 30.32B + 2.944C - 0.9114A^2 - 0.4050B^2 - 0.07975C^2 + 0.5305AB$$

เมื่อ Y = ประจุไฟฟ้าสถิตคงค้าง

A = ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

B = ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต

C = มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์

- จุดเหมาะสมในการปรับค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรที่จะทำให้เกิดปริมาณไฟฟ้าสถิตคงค้างเข้าใกล้ศูนย์ที่สุด และสะดวกต่อการปรับตั้งค่าแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 แสดงจุดเหมาะสมในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิตแบบไม่ใช้ลมในการพาประจุ

พารามิเตอร์ของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต	จุดเหมาะสมในการทำงาน	หน่วย
1. ร้อยละของการปลดปล่อยประจุบวกของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	65	%
2. ความถี่ในการปลดปล่อยประจุบวกและลบของเครื่องสลายไฟฟ้าสถิต	1	Hertz
3. มุมระหว่างเครื่องสลายไฟฟ้าสถิตกับผลิตภัณฑ์	40	Degree

เมื่อนำพารามิเตอร์ที่ได้จากงานวิจัยไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงพบว่าแรงดันไฟฟ้าสถิตคงค้างลดลงจาก 24.675 โวลต์ ลดค่าลงไป -5.332 โวลต์ หรือคิดเป็น 78.391% สำหรับการปรับปรุงค่าผลตอบแทนของเครื่องมือสลายไฟฟ้าสถิต ช่วยลดความเสี่ยงที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหายอันเนื่องมาจากปริมาณของไฟฟ้าสถิตคงค้างในพื้นที่ปฏิบัติงาน

ข้อเสนอแนะ

การทำวิจัยในครั้งนี้ทางผู้ทำการวิจัยได้เลือกปัจจัยเอาปัจจัยที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้มาพิจารณาเป็นหลัก แต่ยังมีปัจจัยแทรกซ้อนอื่น ๆ ที่สามารถส่งผลกระทบต่อค่าผลตอบแทนที่สนใจได้อีก ซึ่งควรทำการศึกษาเพิ่มเติม เช่น การศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับอุณหภูมิ และความชื้นในพื้นที่ปฏิบัติงานที่อาจจะมีผลกระทบต่อการเกิดของไฟฟ้าสถิตในพื้นที่ปฏิบัติงาน แต่การทดลองและควบคุมปัจจัยเหล่านี้ อาจทำได้ยาก เนื่องจากพื้นที่ปฏิบัติงานมีขนาดใหญ่ จึงทำให้การวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นนั้นเป็นไปได้ยาก

เอกสารอ้างอิง

- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด.
- Sayrasang W. & Luangpaiboon P. (2011). Meandering Improvement of Stealth Laser Dicing Process via Mixed Integer Linear Constrained Response Surface Optimization Model. Proceedings of National Operations Research Conference 2011, pp. 44-50.
- Duangkaew S. & Luangpaiboon P. (2013). Surface Lapping Process Improvement Via Steepest Ascent Method Base on Factorial and Simplex Designs. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2013 Vol II, IMECS 2013, March 13-15, 2013, Hong kong, pp. 918-923

การปรับปรุงสายการผลิตอบชุบชิ้นส่วนโลหะ :

กรณีศึกษา โรงงาน ผลิตรถจักรยานยนต์

Line Improvement of Heat Treatment Metal Parts :

Case Study Motorcycle Factory

อุบลรัตน์ หวังรักษ์ดีสกุล(Ubolrat Wangrakdiskul)*

ศุภรียา โกประเสริฐกุล(Cutthareeya Kopraseratkoon) พัดชา พุ่มมาลี(Patcha Pummalee)

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

*Corresponding author. E-mail: Ubolrat.w@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมจักรยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งมีปริมาณการผลิตในปี 2559 ถึง จำนวน 3.5 ล้านคัน และมีอัตราการส่งออกมากถึง 15% ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการแข่งขันของโรงงานจึงเป็นสิ่งสำคัญ จากการศึกษากระบวนการผลิตในโรงงานตัวอย่างซึ่งทำการผลิตรถจักรยานยนต์ พบว่ามีปัญหาการทำงานซ้ำซ้อนในสายการผลิตอบชุบชิ้นส่วนโลหะ และทำให้เสียเวลาในการผลิต งานวิจัยนี้จึงใช้หลักการ ECRS ในการวิเคราะห์กระบวนการผลิต เพื่อปรับปรุงการทำงาน และหลักการด้านการลดความสูญเสีย 7 ประการเน้นเรื่องความสูญเสียเปล่าจากการเคลื่อนไหวไม่จำเป็น และความสูญเสียเปล่าจากการเคลื่อนไหว งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการเปลี่ยนตะกร้าบรรจุชิ้นงานเข้าเตาเผาแบบไม่ทนความร้อน ให้เป็นแบบทนความร้อนทั้งกระบวนการผลิต การปรับปรุงนี้ช่วยลดการเปลี่ยนถ่ายสินค้าทั้งก่อนและหลังกระบวนการอบชุบ ยิ่งกว่านั้น ยังได้ทำการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้น และผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม โดยเน้นที่ค่า ระยะเวลาดำเนินการ พบว่าหลังจากการปรับปรุงการทำงาน เวลาการทำงาน ลดจำนวนพนักงาน และลดจำนวนขั้นตอนการทำงาน

คำสำคัญ: ECRS การสูญเสีย 7 ประการ ระยะเวลาดำเนินการ ประสิทธิภาพการผลิต

Abstract

Motorcycle industry is one of industries which is important to the economic in Thailand. There is the production rate in 2016 for 3.5 billion units and has 15% of production for export to abroad. Therefore, improvement the competitiveness of company in this sector is also important. After studying the process of the study company which produces motorcycles, we found that there is the redundancy work

in the heat treatment process of metal parts and leads to loss production time. This paper uses the principle of ECRS for analyzing the process and improving the performance process. In addition, 7 wastes principles for reducing the unnecessary transportation and movement is also used to solve the problem. Replacing the baskets for loading parts into the heat treatment furnace from non-heat resistant baskets to be heat resistant baskets has been proposed. This can reduce the unloading process, both of before and after heat treatment process. After improving the work, then processing time, the number of employees, and number of process steps are decreased.

Keywords: ECRS, 7 Wastes, Payback Period, Productivity

บทนำ

โรงงานตัวอย่างเป็นโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์ ซึ่งทำการผลิตชิ้นส่วนประกอบภายในโรงงาน ก่อนนำไปประกอบเป็นตัวรถจักรยานยนต์ ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาชิ้นงานประเภท Axle Main, Axle Drive, Gear Primary Drive และ Gear โดยส่วนงานที่ศึกษานี้มีแผนกหลักที่เกี่ยวข้อง 3 แผนก คือ การขึ้นรูป (Machine) การอบชุบชิ้นงานโลหะ (Heat Treatment) และการเจียรระไน (Grinding) ตามลำดับ

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเป็นหัวใจสำคัญในการทำธุรกิจ เนื่องจากต้องมีการแข่งขันเพื่อความอยู่รอดในตลาด ดังนั้นโรงงานตัวอย่างก็เช่นเดียวกันมีนโยบายในการปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต ซึ่งได้ใช้หลักการ Lean Manufacturing ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) คือ “การออกแบบและการจัดกระบวนการ ผลิตการจัดสรรทรัพยากร การกำหนดปริมาณวัสดุสำรองเพื่อการผลิต และการวางมาตรการต่างๆ อย่างเหมาะสม เพื่อให้สามารถส่งมอบสินค้าหรือบริการได้อย่างถูกต้อง ลดความสูญเสียหรือให้มันน้อยที่สุด ด้วยวิธีการกำจัดความสูญเปล่าที่ละขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง” ซึ่งให้บุคลากรทุกคนเข้าใจเป้าหมายการทำงานเดียวกันด้วยระบบ Lean (ระบบ Just In Time และระบบ Lean Manufacturing กับการปฏิบัติงานภายในศูนย์บริการวิชาการ, 2558) ซึ่งเป้าหมายของลีน คือการขจัดความสูญเสีย 7 ประการในกระบวนการทำงาน (William et al, 2002) ประกอบด้วย ความสูญเสียจากการขนส่ง (Transportation Waste) ความสูญเสียจากสินค้าคงคลัง (Inventory Waste)) ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion Waste) ความสูญเสียจากการรอคอย (Waiting Waste) ความสูญเสียจากการผลิตมากเกินไป (Over Production Waste) ความ

สูญเสียจากมีกระบวนการมากเกินไป (Over Processing Waste) และ ความสูญเสียจากผลิตภัณฑ์บกพร่อง (Defects Waste)

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้ ประยุกต์ใช้หลักการหนึ่งของ ECRS และ ความสูญเสีย 7 ประการ ดังนี้ สารโจน (2549) หาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเพิ่มจำนวนหรือเปลี่ยนเครื่องจักรในสถานี่งานที่มีเวลารอคอยมาก โดยแผนการปรับปรุงที่ดีที่สุด คือการเพิ่มตู้อบในสถานี่ Post Mold Cure และเปลี่ยนกระบวนการทำงานระหว่างสถานี่ Surface Treatment และ Molding สามารถลดเวลาสูญเสียไปในการรอคอยได้ 23.06% และค่าใช้จ่ายชิ้นเครื่องจักรเพิ่มขึ้น 4.6% โดยจุดคุ้มทุนคือ 1.25 ปี พิเชฐ และ สุกานดา (2555) ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต โดยลดรอบเวลาการทำงานด้วยหลักการ กำจัด (Eliminate) บางขั้นตอนของการประกอบเฟอร์นิเจอร์ไม้ อูบลรัตน์ และ คณะ (2551) ใช้หลักการการจัดลำดับใหม่ (Rearrange) และ รวมขั้นตอนการทำงาน (Combine) ในโรงงานผลิตหม้อแปลง จักรกฤษณ์(2557) ใช้หลักการ รวมขั้นตอนการทำงาน (Combine) และ การทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) ในกระบวนการผลิตทางเคเวสในโรงงานอุตสาหกรรมเสื้อผ้าสำเร็จรูป ช่วยให้รอบเวลาการผลิตโดยรวมลดลง ประรณนา และคณะ (2553) การประยุกต์ใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่า และ ใช้ผังงานสายธารแห่งคุณค่าในการกำจัดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต โดยจากการวิเคราะห์ขั้นตอนการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมเป็นจุดคอขวด จากการจำลองพบว่า การปรับปรุงโดยการเพิ่มเครื่องจักรอัตโนมัติเวลาในการทำงานลดลงจาก 12.35 ชม./ครั้ง เหลือ 3.36 ชม./ครั้ง และไม่เกิดการทำงานล่วงเวลา ระยะเวลาในการคืนทุน 1 ปี 6 เดือน อรรถพร (2557) พบความสูญเสียเปล่าในขั้นตอนการผลิต คือ การมีสินค้าเกิดความจำเป็น การ

เคลื่อนไหวร่างกายที่ไม่จำเป็น การเคลื่อนย้าย-ขนย้ายที่ไม่จำเป็น และการเกิดการรอคอยได้ ประยุกต์ใช้เทคนิคความสูญเสีย 7 ประการ และการผลิตแบบลีน เพื่อขจัดความสูญเสียเปล่า ผลที่ได้ คือ ลดเวลาการทำงาน 39.51 นาที/กะ ลดพนักงานได้ 15 คน/วัน และลดการจัดเก็บสินค้าคงคลังได้เท่ากับศูนย์ ทำให้ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้น 9.68% **วลัยลักษณ์** (2559) ได้วิเคราะห์ความสูญเสียเปล่าโดยสร้างแผนสายธารแห่งคุณค่าแล้วได้นำเสนอแนวทางปรับปรุง 5 แนวทางโดยได้ทำการจำลองผลลัพธ์พบว่าแนวทางที่ 4 และ 5 สามารถผลิตชิ้นงานออกได้มากที่สุด 277 ชิ้น/วัน แต่ถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายโดยรวมด้วยแนวทางที่ 5 มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า โดยในแนวทางที่ 5 ปรับปรุงโดยการเพิ่มหุ่นยนต์ 2 ตัว **อรรถกร และ วุฒิชัย (2558)** ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการรวมขั้นตอน Combine) และสร้างแบบจำลองกระบวนการผลิต ผลการปรับปรุงได้ทำการเพิ่มพนักงานหน่วยที่ 5 เพื่อแก้ปัญหาภาวะคอขวด และการรวมเครื่องตัด 1,2 เข้าด้วยกัน แล้วลดพนักงานตรวจสอบเหลือ 1 ครั้ง ทำให้สามารถลดเครื่องตัดต่อได้ 1 เครื่องลดจำนวนพนักงานได้ 2 คน ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจักรใหม่ 2.3 ล้านบาท และค่าแรงคนงาน 353,875 บาท/ปี

รุ่งโรจน์ (2559) ศึกษาเก็บข้อมูลกระบวนการบรรจุเคมีเกษตร โดยการสร้างแบบจำลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักรสถานะปัจจุบัน และนำเสนอวิธีการปรับปรุง ทำให้สามารถผลิต 1168 กล่อง ต่อบรรจุ 390 นาทีได้ Takt time 17 วินาที/กล่อง และลดคนงานได้ 6 คน จุดคุ้มทุน คือ 7 เดือน

บริษัทกรณศึกษา คือ บริษัท สยามยามาฮา จำกัด ก่อตั้ง เมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2507 มีเป้าหมาย เพื่อตอบสนองความต้องการรถจักรยานยนต์ที่เพิ่มมากขึ้น บริษัทฯได้มีส่วนทำให้อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ในประเทศไทยเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ยามาฮาเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากภาครัฐ และบริษัท ยามาฮาประเทศญี่ปุ่น จำกัด ประเทศญี่ปุ่น และในปี 2543 บริษัท ยามาฮามอเตอร์ จำกัด ประเทศญี่ปุ่น ได้เข้ามาถือหุ้นใหญ่เพื่อเสริมความแข็งแกร่งและมาตรฐานให้เทียบเท่าระดับโลก บริษัท ไทยยามาฮามอเตอร์ จำกัด คือ ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายรถจักรยานยนต์ชั้นนำของประเทศไทย ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาและปรับปรุง แผนกอบชุบชิ้นงานโลหะ โรงงาน ไทยยามาฮา มอเตอร์ จำกัด ปัญหาที่เกิดขึ้น คือ กระบวนการทำงานในแผนกอบชุบชิ้นงานโลหะนั้น ชิ้นงานจะอยู่ในตะกร้าที่ไม่ทนความร้อน ซึ่งก่อนเข้าเตาเผา จะต้องเปลี่ยนถ่ายเป็นตะกร้าที่ทนความร้อน และหลังจากออกจากเตาเผาก็ต้องเปลี่ยนถ่ายชิ้นงานกลับไปตะกร้าไม่ทนความร้อนเหมือนเดิมเพื่อที่จะหมุนเวียนนำตะกร้าทนความร้อนกลับไปใช้อีก ทำให้สูญเสียเวลาในการเปลี่ยนถ่ายชิ้นงาน มีความสูญเสียในการเคลื่อนไหวยของพนักงานที่ทำงาน ใช้พนักงานในการทำงานมาก และ ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน ดังนั้นการวิจัยนี้เน้นการปรับปรุงกระบวนการอบชุบชิ้นส่วนโลหะ โดยประยุกต์หลักการ ECRS และ ความสูญเสีย 7 ประการ โดย การลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวยไม่จำเป็น และ วิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานเพื่อหาวิธีลดเวลาและลดจำนวนพนักงานในการผลิตลง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปรับปรุงสายการผลิตอบชุบชิ้นส่วนโลหะ โดยลดเวลาการทำงานในโรงงานกรณศึกษาอย่างน้อย 50%

วิธีดำเนินการวิจัย

ขอบเขตงานวิจัย

- ศึกษากระบวนการอบชุบชิ้นส่วนโลหะ โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
- ศึกษา ชิ้นงาน เพื่อทำการปรับปรุงประกอบด้วยแบบ Axle และ แบบ Gear รวมทั้งหมด 8 ชนิด ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ชนิดของชิ้นส่วนที่ทำการศึกษาประเภท Axle และ Gear

ประเภทชิ้นงาน		ชื่อชิ้นงาน
Axle	Axle Main	4C9-A/M
		1P7-A/M
	Axle Drive	4C9-A/D
		1P7-A/D
	Gear Primary Drive	4C9-Gear Primary Drive
Gear		4C9-Gear-1W
		1P7-Gear-1W
		4C9-Gear Primary DriveN

มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. เก็บข้อมูลกระบวนการผลิต ระหว่างเวลา พฤษภาคม 2559- มีนาคม 2560 เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และสาเหตุ ดังแสดงในภาพ 1 มีขั้นตอนการผลิตหลัก 13 ขั้นตอน และ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางความร้อน คือ ขั้นตอนที่ 5, 6, 7, 8, 9, 10 และ 11

ขั้นตอนการทำงาน					
1. วัตถุดิบ					
2. Machining					
3. บรรจุชิ้นงานลงตะกร้าไม่ทนความร้อน					
4. ลำเลียงตะกร้าที่บรรจุชิ้นงานลงรถเข็น					
เข้าสู่กระบวนการอบชุบชิ้นส่วนโลหะ					
5. Anti-carburizing (เฉพาะชิ้นงาน Axle)					
6. ขนย้ายชิ้นงานจากตะกร้าไม่ทนความร้อน ลงตะกร้าทนความร้อน					
7. ยกตะกร้าทนความร้อนลงสู่ Tray					
8. ลำเลียง Tray เข้าเตาอบชุบ					
9. เตาอบชุบชิ้นงาน					
10. นำชิ้นงานออกจากเตาอบชุบ					
11. ขนย้ายชิ้นงานจากตะกร้าทนความร้อน ลงสู่ตะกร้าไม่ทนความร้อน					
12. Grinding ชิ้นงาน					
13. ขนส่งไปแผนกประกอบ					

ชิ้นงานบรรจุในตะกร้าไม่ทนความร้อน

ชิ้นงานบรรจุในตะกร้าทนความร้อน

ชิ้นงานบรรจุลงกล่อง

ภาพ 1 ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนเพลลา และเกียร์ ของรถจักรยานยนต์

2. ศึกษาเวลาการทำงานในขั้นตอนที่ทำการปรับปรุง

ขั้นตอนที่มุ่งเน้นปรับปรุงสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ขั้นตอน setting (6,7,8) ขั้นตอนที่ 9 (การอบชุบ) และ ขั้นตอน Di-setting (10,11) แสดงในตาราง 2 พบว่าเวลาในการทำงาน มีดังนี้

- ขั้นตอนที่ 6,7, และ 8 ใช้เวลา 40-80 นาที/รอบการผลิต
- ขั้นตอนที่ 9 ใช้เวลา 345-480 นาที/รอบ
- ขั้นตอนที่ 10,11 ใช้เวลา 40-70 นาที/รอบการผลิต

ทั้ง 2 กลุ่มนี้ เป็นขั้นตอนการขนย้ายชิ้นงาน ลงภาชนะ และขนย้ายชิ้นงานออกจากภาชนะ เป็นเวลาที่ไม่ก่อให้เกิดผลผลิต ดังนั้น ควรลดเวลาการทำงาน และลดขั้นตอนให้น้อยลง โดยใช้หลักการ 7 wastes ขั้นตอนการขนย้ายวัสดุ (Transportation) และการเคลื่อนไหว (Motion) และหลักการ ECRS ด้านการกำจัด (Eliminate) ขั้นตอนการผลิต

ตาราง 2 เวลาการทำงานของขั้นตอนการผลิตที่ 5-11

ประเภทชิ้นงาน	ชื่อชิ้นงาน	ขั้นตอนที่ 5		ขั้นตอนที่ 6,7,8		ขั้นตอนที่ 9	ขั้นตอนที่ 10,11	
		Anti-Carburizing		Setting		เตาอบชุบ	Disetting	
		เวลา (นาที)	จำนวน คนงาน	เวลา (นาที)	จำนวน คนงาน	(นาที)	เวลา (นาที)	จำนวน คนงาน
Axle	4C9-A/M			80		395	60	
	1P7-A/M			80		395	60	
	4C9-A/D	70		40		480	50	
	1P7-A/D	70	2	40		480	50	
	4C9-Gear Primary Drive	180		60	2	395	40	2
Gear	4C9-Gear-1W			55		345	60	
	1P7-Gear-1W			55		345	60	
	1C9-Gear Primary Drive†			80		345	70	

หมายเหตุ ชิ้นงาน 4C9-A/D 1P7-A/D 4C9-Gear Primary Drive เท่านั้นที่ผ่านกระบวนการ Anti-carburizing

1. ศึกษาแนวทางการปรับปรุงปัญหาที่พบ

เนื่องจากขั้นตอนทั้ง 2 กลุ่มที่แสดงในหัวข้อที่ 2 เกี่ยวข้องกับการขนย้ายวัสดุจากตะกร้าไม่ทนความร้อน ลงสู่ตะกร้าทนความร้อน แล้ว ถ่ายกลับลงสู่ตะกร้าไม่ความร้อน อีก เป็นการทำงานที่ซ้ำซ้อน ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการปรับปรุงดังนี้

- เปลี่ยนตะกร้าบรรจุชิ้นงานจากไม่ทนความร้อน เป็น ตะกร้าทนความร้อน ทั้งหมด เพื่อลดการขนย้ายชิ้นงาน เวลาที่สูญเสีย และแรงงานคน

3. การทดลองปรับปรุง ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ผลการปรับปรุง

ผลการปรับปรุงสรุปได้ดังนี้

1. สรุปกระบวนการทำงานใหม่ กรณีใช้ตะกร้าทนความร้อนทั้งระบบ เริ่มเปลี่ยนแปลงที่ขั้นตอนที่ 3 และ 4 เป็นผลให้ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายชิ้นงานลดลง 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 6, 11 สรุปได้ภาพ 2 และสรุปเวลาการทำงานที่ลดลงในตาราง 3 ลดเวลาการขนถ่ายชิ้นงานลงได้ 79.26% และ 80.22%
4. การทดลองปรับปรุง ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

ผลการปรับปรุง

ผลการปรับปรุงสรุปได้ดังนี้

- 1.สรุปกระบวนการทำงานใหม่ กรณีใช้ตะกร้าทนความร้อนทั้งระบบ เริ่มเปลี่ยนแปลงที่ขั้นตอนที่ 3 และ 4 เป็นผลให้ขั้นตอนการเคลื่อนย้ายชิ้นงานลดลง 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 6, 11 สรุปได้ภาพ 2 และสรุปเวลาการทำงานที่ลดลงในตาราง 3 ลดเวลาการขนถ่ายชิ้นงานลงได้ 79.26% และ 80.22%



ภาพ 2 ขั้นตอนการผลิตใหม่หลังปรับปรุงใช้ตะกร้าทนความร้อนทั้งระบบ

ตาราง 3 เปรียบเทียบเวลาการทำงานก่อน และหลังการปรับปรุง

ชื่อชิ้นงาน	เวลาการทำงาน (นาที)					
	ขั้นตอนที่ 6,7,8 (Setting)			ขั้นตอนที่ 10,11 (Disetting)		
	ก่อน ปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง (%)	ก่อน ปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง (%)
		ไม่มีขั้นตอน ที่ 6			ไม่มี ขั้นตอนที่ 11	
4C9-A/M	80	10	87.50%	60	9	85.00%
1P7-A/M	80	10	87.50%	60	9	85.00%
4C9-A/D	40	10	75.00%	50	9	82.00%
1P7-A/D	40	10	75.00%	50	9	82.00%
4C9-Gear Primary Drive	60	12	80.00%	40	11	72.50%
4C9-Gear-1W	55	14	74.55%	60	13	78.33%
1P7-Gear-1W	55	14	74.55%	60	13	78.33%
4C9-Gear Primary DriveN	80	16	80.00%	70	15	78.57%
เฉลี่ย			79.26%			80.22%

2. สรุปผลการลงทุนเปลี่ยนเป็นตะกร้าทนความร้อนทั้งระบบ ทดแทนตะกร้าแบบไม่ทนความร้อน

2.1 เก็บข้อมูลจำนวนตะกร้าในโรงงาน คำนวณจำนวนตะกร้าทนความร้อนที่ต้องจัดหาเพิ่ม แสดงใน ตาราง 4

ตาราง 4 จำนวนตะกร้าที่ต้องการ ที่มีอยู่เดิม และจำนวนต้องซื้อเพิ่ม

	จำนวนตะกร้าที่ต้องการ ใบ/วัน					ตะกร้ามีเดิม (ใบ)	ตะกร้าต้องซื้อเพิ่ม (ใบ)
	Machining	Heat treatment	Grinding	รวมตะกร้าต้องการ	สำรอง 10%		
4C9-A/M	3	3	3	9	1	3	7
1P7-A/M	2	2	2	6	1	2	5
4C9-A/D	3	3	3	9	1	3	7
1P7-A/D	1	1	1	3	1	1	1
4C9-Gear Primary Drive	4	4	4	12	2	4	10
4C9-Gear-1W	2	2	2	6	1	2	2
1P7-Gear-1W	2	2	2	6	1	2	2
4C9-Gear Primary DriveN	4	4	4	12	2	4	10

2.1 คำนวณจำนวนเงินลงทุนที่ต้องใช้จัดซื้อตะกร้าทนความร้อน

แสดงเงินลงทุนในการซื้อตะกร้าทนความร้อนเพิ่ม จากที่คำนวณได้ในตาราง 4 สรุปได้ในตาราง 5

ตาราง 5 จำนวนเงินลงทุนซื้อตะกร้าทนความร้อน

ตะกร้าสำหรับชิ้นงาน	จำนวนเงิน (บาท)
4C9-A/M	$8,200 \times 7 = 57,400$
1P7-A/M	$8,200 \times 5 = 41,000$
4C9-A/D	$8,200 \times 7 = 57,400$
1P7-A/D	$8,200 \times 1 = 8,200$
4C9-GPD	$8,200 \times 10 = 82,000$
4C9-G1W	$3,030 \times 2 = 6,060$
1P7-G1W	$3,030 \times 2 = 6,060$
4C9-GPDN	$3,030 \times 10 = 30,300$
	288,420

2.1 เปรียบเทียบผลดีเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ได้รับจากการเพิ่มตะกร้าทนความร้อน
และจำนวนคนงานที่ลดลง แสดงในตาราง 6 ลดจำนวนคนงานลงได้ 2 คน

ค่าแรงงานที่ประหยัดได้ 20,000 บาท/เดือน จำนวน 2 คน ประหยัดได้ 40,000 บาท/เดือน คิด
เป็นระยะเวลาคืนทุนในตาราง 7

ตาราง 6 จำนวนพนักงานก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง

ขั้นตอนการทำงาน	จำนวนพนักงานก่อนปรับปรุง (คน)	จำนวนพนักงานหลังปรับปรุง (คน)
5. Anti Carburizing	2	2
6. ย้ายชิ้นงานจากตะกร้าไม่ทน ความร้อนเป็นตะกร้าทนความ ร้อน (Setting)	1	-
7. ย้ายตะกร้าทนความร้อนลง Tray (Setting)	1	1
10. ย้ายชิ้นจากตะกร้าทนความ ร้อน สู่ตะกร้าไม่ทนความร้อน (Disetting)	2	1
รวม	6	4

ตาราง 7 เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนระหว่างการซื้อตะกร้าเพิ่ม กับ ค่าแรงงานที่ประหยัดได้

เดือนที่	เงินลงทุน	ค่าแรงงานที่ประหยัดได้	ระยะเวลาคืนทุน
0	288,420 บาท		$288,420/40,000 = 7$ เดือน 6 วัน
1		40,000 บาท	
2		40,000 บาท	
3		40,000 บาท	
4		40,000 บาท	
5		40,000 บาท	
6		40,000 บาท	
7		40,000 บาท	
8		40,000 บาท	

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้หลักการลดความสูญเปล่า 7 wastes โดยลดการ Transportation และ Motion ในขั้นตอนที่ 6 และ 11 และใช้หลักการ ECRS เน้นปัจจัยด้าน Eliminate โดยได้ทดลองนำเสนอเปลี่ยนแปลงตะกร้าบรรจุชิ้นงาน ให้เป็นแบบทนความร้อนทั้งระบบ เริ่มปรับเปลี่ยนที่ขั้นตอนที่ 3 ทั้งนี้เพื่อลดความสูญเปล่า จากการขนถ่ายซ้ำซ้อน ทำให้เสียเวลา และเปลืองแรงงาน ผลการเปลี่ยนแปลงได้ประสิทธิภาพด้านลดเวลาการทำงานลงถึง 80% สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตได้มากกว่า 50 % บรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ นอกจากนี้ยังลดจำนวนพนักงานลง 2 คน จากทั้งหมด 6 คน ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนที่ 6 และ 11

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงตะกร้าต้องใช้เงินลงทุนเพิ่ม ดังนั้นการคำนวณเปรียบเทียบเชิงเศรษฐศาสตร์ เทียบกับค่าแรงงานที่ประหยัดได้ คิดเป็นระยะเวลาคืนทุน 7 เดือน 6 วัน ซึ่งสามารถคืนทุนได้เร็วไม่เกิน 1 ปี เทียบกับงานวิจัยอื่นใช้เวลาการคืนทุนมากกว่า 1 ปี (สารโจน์ (2549), ปรรณนา และคณะ (2553))

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังได้ตระหนักถึงปัญหาในการทำงานของพนักงานในขั้นตอน Setting และ Di-setting ของชิ้นงานประเภท Gear พบว่ามีการทำงานที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้า จึงนำเสนออุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน เพื่ออำนวยความสะดวกแก่พนักงานในขั้นตอนการทำงานนั้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น ซึ่งเป็นการผลัดเข้่งคุณภาพ อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานนี้ได้ออกแบบมาเพื่อเป็นแนวทางให้โรงงานพิจารณาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทไทยยามาฮา มอเตอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล และทดลองปรับปรุง ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- จักรกฤษณ์ ฮั่นยะลา, (2557), การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตทางแกวสในโรงงานอุตสาหกรรม เสื้อผ้าสำเร็จรูป กรณีศึกษาบริษัท นอร์ธเทิร์น แอพไพร์จำกัด, วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ปีที่ 7 ฉบับที่ 1, มกราคม – มิถุนายน 2557, 14-25.
- ปรารธนา ปรารธนาดี และคณะ, (2553), การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์และผังงานสายธารแห่งคุณค่า ในโรงงานผลิตกาแฟแบบคั่วบดกรณีศึกษา, วิทยานิพนธ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิเชฐ พุ่มเกสร และ สุกานดา ศรีอร่าม, (2555), การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ กรณีศึกษา: บริษัท อินเด็กซ์อินเตอร์เฟิร์น จำกัด สาขามหาชัย, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, พศ.2555, 17-19 ตุลาคม 2555 ชะอำ เพชรบุรี.
- ระบบ Just In Time และ ระบบ Lean Manufacturing กับการปฏิบัติงานภายในศูนย์บริการวิชาการ, http://academicervice.eau.ac.th/doc/km/km_1_52/7_52.pdf, เข้าถึงเมื่อ 12 กรกฎาคม 2558
- รุ่งโรจน์ เชียงทอง, (2559), การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเคมีเกษตรโดยโปรแกรมการจำลองสถานการณ์กรณีศึกษาโรงงานผลิตภัณฑ์เคมีเกษตร, กิจกรรมศึกษาแนวทางการพัฒนาเครือข่ายผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม สถาบันไทย-เยอรมัน 20000.
- วลัยลักษณ์ อัครีวงศ์ และ คณะ, (2559), การ ปรับปรุง สาย การ ผลิต Frame Sub Assembly Seat Support: กรณี ศึกษา บริษัท ไทย ซัมมิท โกลด์ เพรส จำกัด, วารสาร ไทย การ วิจัย ดำเนิน งาน (Thai Journal of Operations Research: TJOR) 4.2: 1-9.
- สาโรจน์ คำใส. (2549), การจำลองแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิต Optocouplers. ของ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์, การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงาน ประจำปี 2.
- อรรถกร เก่ง พล และ วุฒิ ชัย ยัง สว่าง, (2558), การ ประยุกต์ ใช้ วิศวกรรม คอน เค อ ร์ เร็ น ท์ และ การ จำลอง สถานการณ์ ใน การ เพิ่ม ความ สามารถ ใน การ ผลิต ของ กระบวนการ

ดัด ท่อ: กรณี ศึกษา บริษัท ผลิต ท่อ น้ำมัน, วารสาร วิชาการ พระจอมเกล้า พระนครเหนือ
25.2: 233-242.

อรรถพร อำชัญญ์, (2557), การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกโดยใช้
ทฤษฎีการผลิตแบบลีน, การค้นคว้าอิสระ ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะ
บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อุบลรัตน์ หวังรัชต์สกุล นรินทร์ เตชะสวัสดิ์วิทย์ และ อิทธิพล เนคมานุรักษ์, (2551), การปรับปรุง
กระบวนการผลิตฝาครอบโหลดเบรกสวิตช์ในโรงงานผลิตหม้อแปลงโดยการจัดทำเวลา
มาตรฐาน, วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 18(1), มกราคม – เมษายน 2551, 41-
46.

William, G. S., Thomas, N. M., Eileen M. V.A. (2002). Equipment replacement decisions
and lean manufacturing, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 18,
255–265.

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตปลาพิพย์

Efficiency Improvement of Production Fish Chip

ศุภชัย แก้วจิ้ง(Supachai Kaewjang)*

สาขาวิชาอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

*Corresponding author. E-mail: supachai.kaewjang@yahoo.com

บทคัดย่อ

การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตของแผนกปลาพิพย์ กรณีสึกษาบริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด ใช้หลักการของเครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tool) คือแผนผังแสดงการไหล แผนภูมิแก๊งปลา และกราฟ เพื่อกำหนด และวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ปรับปรุงกระบวนการผลิต และควบคุมกระบวนการตามลำดับ จากการศึกษากระบวนการผลิตพบว่าสาเหตุของปัญหาที่ทำให้อัตราผลผลิตต่ำเกิดจากความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต และการทำงานที่ขาดประสิทธิภาพ วิธีการทำงานที่ไม่เหมาะสม การทำงานที่ซ้ำซ้อน และการเคลื่อนไหว ที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าในกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีการปรับปรุงแบบไคเซ็น โดยมุ่งเน้นการแก้ปัญหาที่เครื่องจักรเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลามากที่สุด ตั้งแต่ขั้นตอนการลำเลียงเนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูป ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักปลาพิพย์ที่ไม่ได้มาตรฐานและขั้นตอนการปิดเศษเกล็ดขนมปัง ด้วยวิธีการใช้ระบบวาล์วเติมเนื้อปลาอัตโนมัติ และใช้แปรงปิดเศษเกล็ดขนมปังที่ติดกล่องปลาพิพย์

ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตพบว่าสามารถลดจำนวนพนักงานในสายการผลิตจาก 30 คน เหลือ 28 คน ลดขั้นตอนการทำงานจาก 16 ขั้นตอน เหลือ 14 ขั้นตอน อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 1.08 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15,531.20 กิโลกรัมต่อเดือน ค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงลดลง 361,022.19 บาทต่อเดือน ต้นทุนค่าแรงเฉลี่ยลดลง 8.77 บาทต่อกิโลกรัม จำนวนชั่วโมงว่างเวลาลดลง 285.24 ชั่วโมงต่อเดือน ค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงว่างเวลาลดลง 17,191.30 บาทต่อเดือน ต้นทุนค่าแรงว่างเวลาเฉลี่ยลดลง 0.21 บาทต่อกิโลกรัม ลดต้นทุนการผลิตลง 3.38 บาทต่อกิโลกรัม และสามารถทำให้กระบวนการผลิตด้านน้ำหนักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานเพิ่มขึ้น 26.21 เปอร์เซ็นต์ และจุดคุ้มทุน 4.48 วัน สามารถทำได้ง่าย ลงทุนต่ำ และคืนทุนเร็ว

คำสำคัญ: การปรับปรุง การผลิตปลาพิพย์ เครื่องมือคุณภาพ

Abstract

Efficiency Improvement of Fish Chip production in case of Pacific fish processing Co., Ltd is carried out by Using 7-QC tools (Flow chart, Fishbone Diagram and Graph) to identify and analyze the cases of the problem to improve the production process and to control the operation, respectively. The result of production process found that there was low productivity because of the production process loss, inefficient work, inappropriate method, was partially non-productive due to the work being inefficient caused by inappropriate method, redundant production process, and non-productive movement in production process. Therefore, the improvement way applied Kaizen theory was proposed to reduce the production process lost. It is emphasized on solving machine. Which is the main cause of waiting time. The improvement started from conveying meat into fish forming machine, weighing and cleaning up the crumbs outer boxes. This improvement was employed an automatic fish filler valve system and brush to clean the bread crumbs.

The result from post improvement gave lower worker numbers from 30 to 28, fewer process from step in 16 steps to 14 steps. The production rate increased 1.08% as equal 15,531.20 kg/month the labor cost reduced 361,022.19 baht/month or 8.77 baht/kg. The over time working reduced 285.24 h/month causing to the lower over time cost 17,191.30 baht/month or 0.21 baht/kg. This result found that the production cost reduction was 3.38 baht/kg, the weight quality followed standard increased 26.21% and break-even point 4.48 day. This research indicated that this efficiency improvement was simple way cost reduction and rapid payback.

Keywords: Improvement, Manufacturing Fish Chip, Quality tool

บทนำ

ปัจจุบันสภาวะการแข่งขันของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารทะเลแช่เยือกแข็งในประเทศไทยเพิ่มสูงขึ้น อันเป็นผลมาจากราคาวัตถุดิบที่มีความผันผวนรวมถึงการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะราคาวัตถุดิบปลา เนื่องจากผู้ประกอบการยังคงประสบปัญหาจากข้อจำกัด ด้านวัตถุดิบ สัตว์น้ำในน่านน้ำไทยลดลงอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งเรือประมงส่วนใหญ่ยังไม่ได้รับใบอนุญาตจากน่านน้ำประเทศเพื่อนบ้านส่งผลให้โรงงานแปรรูปสัตว์น้ำหลายแห่งต้องปิดกิจการ หรือลดกำลังการผลิตลง ทำให้ปริมาณส่งออกอาหารทะเลสดแช่เย็น แช่แข็งมีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ผู้ประกอบการเรือประมง

หยุดทำประมง และขาดแคลนสัตว์น้ำ อย่างไรก็ตาม เศรษฐกิจโลกปัจจุบันมีแนวโน้มฟื้นตัวอาจส่งผลให้ผู้บริโภคในหลายประเทศกลับมารับประทานอาหารทะเลที่มีราคาสูง อาทิ ปลา ปู และปลาหมึกเพิ่มสูงขึ้นอีกทั้งคาดว่าอาหารทะเลจะยังเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค เนื่องจากเป็นอาหารที่ดีต่อสุขภาพ สอดคล้องกับกระแสรักสุขภาพของผู้บริโภคในปัจจุบันแนวโน้มการส่งออกอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปปรับตัวดีขึ้นในส่วนของดัชนีราคาส่งออกหมวดสินค้าอาหารทะเลแช่แข็งกระป๋องและแปรรูปของไทย เดือนพฤษภาคม 2559 ดัชนีราคาลดลง ร้อยละ 1.3 เมื่อเทียบกับเดือนเดียวกันในปีก่อน แต่เป็นการติดลบในอัตราชะลอลง ทั้งนี้เนื่องจากสหภาพยุโรป (EU) ประกาศให้ใบแดงประเทศไทยเกี่ยวกับการทำประมงผิดกฎหมาย ซึ่งส่งผลให้ความต้องการสินค้าลดลง แต่จากกรณีที่ไทยได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาการค้ามนุษย์และสามารถปรับสถานการณ์การมนุษย์ไทยจากเทียร์ 3 เป็นเทียร์ 2 คาดว่าสถานการณ์การส่งออกอาหารทะเลกระป๋องและแปรรูปของไทยจะปรับตัวดีขึ้น (สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า (สนค.) กระทรวงพาณิชย์ฉบับที่ 42/2559, Volume 42/2016) ในสภาวะที่ธุรกิจมีความเสี่ยงจากต้นทุนการผลิตด้านวัตถุดิบ และแรงงานเพิ่มสูงขึ้นผู้ประกอบการจำเป็นต้องเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้มากขึ้น โดยมุ่งเน้นกระบวนการผลิตที่มีต้นทุนต่ำ การใช้ทรัพยากรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และเพิ่มผลผลิตให้มากที่สุด ปัญหาส่วนใหญ่ที่มักพบในอุตสาหกรรมการผลิตอาหารทะเลแปรรูปที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพกระบวนการผลิต เช่น การใช้แรงงานเกินความจำเป็น กำลังการผลิตไม่ได้ตามมาตรฐาน และข้อจำกัดของเทคโนโลยีการผลิตที่มีอยู่เป็นต้น จากปัญหาดังต้นผู้ประกอบการจำเป็นต้องปรับปรุง และพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต เพื่อสามารถดำเนินการได้ในสภาวะการแข่งขันในปัจจุบัน

จากการที่ผู้วิจัยทำเข้าไปศึกษาข้อมูลและกระบวนการผลิตปลาหิพย์ พบว่า มีการกำหนดกำลังการผลิตเป้าหมาย 120 ตันต่อเดือน แต่ในปัจจุบันมีกำลังการผลิต 110 ตันต่อเดือนซึ่งกำลังการผลิตต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด เมื่อพิจารณากำลังการผลิตแยกในแต่ละขั้นตอนการผลิต พบว่าในแต่ละขั้นตอนมีกำลังการผลิตไม่เท่ากัน โดยบางขั้นตอนมีกำลังการผลิตสูง ในขณะที่บางขั้นตอนมีกำลังการผลิตต่ำ ทำให้เกิดจุดคอขวดในกระบวนการผลิต ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต คือเกิดงานระหว่างกระบวนการ (Work In Process) มาก สายการผลิตขาดความต่อเนื่อง และเกิดการว่างงานเป็นต้น นอกจากนี้กรณีศึกษา บริษัทแปซิฟิก แปรรูปสัตว์น้ำจำกัด มีลักษณะการผลิตที่ต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลผลิตคุณภาพด้านน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ที่เป็นตัวชี้วัดด้านประสิทธิผล ปัจจุบันร้อยละ 52.02 แต่มีเป้าหมายร้อยละ 75 แต่ในปัจจุบันประสิทธิผลต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้มาก โรงงานกรณีศึกษาจึงต้องลดแรงงานในขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าแล้วนำไปเพิ่มแรงงานในขั้นตอนที่ก่อให้เกิดมูลค่าการผลิต เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตภายใต้แรงงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจการปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน เพื่อตอบสนองแผนงาน การเพิ่มประสิทธิภาพ การดำเนินงานโดยจัดแผนงานย่อย เพื่อรองรับทั้งด้าน

เครื่องจักร อุปกรณ์และวิธีในการทำงานรวมถึงตระหนักในความร่วมมือของทุกคนในองค์กรเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุดตามนโยบายของบริษัท

จากปัญหาดังกล่าว ส่งผลทำให้โรงงานกรณีศึกษาต้องหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพต่างๆ เช่น การปรับปรุงวิธีการทำงาน การปรับปรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละขั้นตอนให้มีความสอดคล้อง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและ เพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตปลาทิพย์
2. เพื่อศึกษาต้นทุนและจุดคุ้มทุนจากการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานผลิตปลาทิพย์

วิธีดำเนินการวิจัย

1. แผนการดำเนินงาน

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาตามแผนการดำเนินและหาแนวทางเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตปลาทิพย์ โดยการสำรวจกระบวนการผลิตปลาทิพย์ ข้อมูลการผลิตปลาทิพย์และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการบันทึกรายงานการผลิตปลาทิพย์ วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลโดยการนำข้อมูลที่รวบรวมมาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง โดยใช้แผนภูมิ Flow Chart กระบวนการไหลของงาน, แผนภูมิแก้งปลา, วิธีการหาค่าร้อยละการผลิต, ค่าเฉลี่ยของกระบวนการและกราฟเป็นจำนวน 5 เดือนของปี 2560 และจัดทำนำเสนอรายงานหลังจากทำการปรับปรุง โดยการหาค่าร้อยละการผลิต ค่าเฉลี่ย และกราฟ

2. เครื่องมือคุณภาพ

จัดทำใบบันทึกวันทำงาน ชั่วโมงล่วงเวลาของแต่ละเดือน และใบบันทึกการ Reject กลุ่มปลาทิพย์ที่น้ำหนักไม่ได้ตามมาตรฐานจากเครื่องชั่งอัตโนมัติที่ต้องนำกลับไปแก้ไขใหม่ จากนั้นทำไปสร้าง กราฟ แผนภูมิ Flow Chart และแผนภูมิแก้งปลา

3. ศึกษาขั้นตอนกระบวนการในการผลิตปลาทิพย์

เริ่มต้นขั้นตอนจากการเตรียมเนื้อปลา ส่วนผสม กล่องเปล่า การสับผสมเนื้อปลากับเกลือด้วยเครื่องสับละเอียด การปั่นเนื้อปลากับส่วนผสมต่างๆ การลำเลียงเนื้อปลาเข้าเครื่อง Feed Pump การขึ้นรูปปลาทิพย์ การบรรจุกล่อง การชั่งน้ำหนักด้วยระบบอัตโนมัติ การตรวจสอบเกล็ดขนมปังที่

4. ศึกษาข้อมูลกระบวนการในการผลิตปลาทิพย์

ทำการศึกษขั้นตอนกระบวนการผลิตปลาทิพย์ และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของแผนกปลาทิพย์ ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นคือ กำลังการผลิตต่ำ ทำให้ต้องทำงานล่วงเวลาเพิ่มจากเวลาทำงานปกติ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลปริมาณการผลิตที่สามารถผลิตได้ในช่วงเวลาทำงานตั้งแต่เดือน มกราคม 2560 ถึงเดือน พฤษภาคม 2560 ดังแสดงในตาราง

ตาราง 1 แสดงการบันทึกวันทำงานและชั่วโมงล่วงเวลาแผนกปลาทิพย์

ตารางบันทึกวันทำงานและชั่วโมงทำงานล่วงเวลา แผนกปลาทิพย์									
2560 เดือน	ยอดผลิต กิโลกรัม	การผลิต ร้อยละ	จำนวนวัน วัน	จำนวน พง คน	ค่าแรงปกติ บาท	ค่าแรงปกติ บาท/กก.	จำนวนชั่วโมง ล่วงเวลา ชั่วโมง	ค่าแรงล่วงเวลา บาท	ค่าแรงล่วงเวลา บาท/กก
มกราคม	109,417	97.28	20	562	3,372,000	30.82	1,190.39	66,959.44	0.61
กุมภาพันธ์	110,485	97.29	23	638	4,402,200	39.84	1,073.61	60,390.56	0.55
มีนาคม	117,733	97.37	23	755	5,209,500	44.25	807.99	45,449.44	0.39
เมษายน	104,746	97.35	21	613	3,861,900	36.87	1,103.05	62,046.56	0.59
พฤษภาคม	92,038	97.54	25	693	5,197,500	56.47	1,078.65	60,674.06	0.66
รวม	534,419	-	112	3261	22,043,100	-	5,253.69	295,520.06	-
เฉลี่ย	106,883.8	97.37	22.4	652.2	4,408,620	41.25	1,050.74	59,104.01	0.55

5.การวิเคราะห์ข้อมูลด้านเศรษฐศาสตร์

ศึกษาข้อมูลด้านทางเศรษฐศาสตร์ก่อนการปรับปรุง และแก้ไขปัญหาต่างๆในกระบวนการผลิตปลาทิพย์ โดยแสดง ข้อมูลต้นทุนค่าแรงต่อกิโลกรัม ดังตาราง 2

ตาราง 2 แสดงต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วย

รายการ	ค่าแรงเวลาปกติ	ค่าแรงล่วงเวลา	หน่วย
พนักงานทำงาน	30	30	คน
ค่าแรงชั่วโมงละ	40.18	60.27	บาท/คน
ค่าแรง	1,205.40	1,808.10	บาทต่อชั่วโมง
อัตราการผลิตต่อชั่วโมงเฉลี่ย	510.75	510.75	กิโลกรัมต่อชั่วโมง
ค่าแรงต่ออัตราการผลิตกิโลกรัม	2.36	3.54	บาทต่อกิโลกรัม

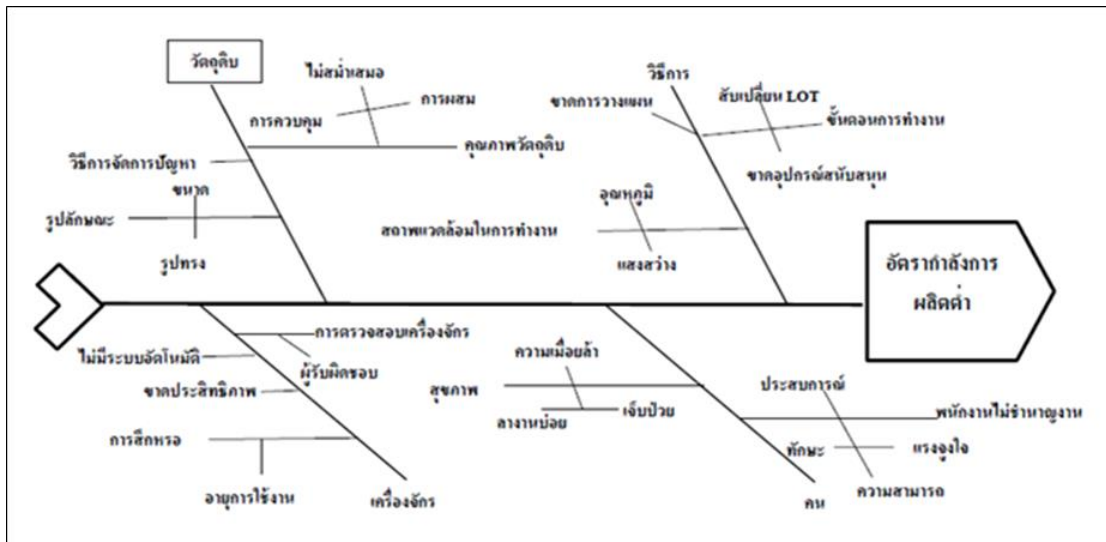
ผลการวิจัย

1. วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากศึกษาข้อมูลสามารถนำมาวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ โดยวิเคราะห์สาเหตุหลัก ที่ทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในด้านค่าแรงล่วงเวลา โดยใช้หลักการของเครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tool) โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องจักรและผลผลิต การสังเกตพนักงานในขณะปฏิบัติงานและจัดทำสาเหตุของปัญหา พบว่าสาเหตุความสูญเสียเปล่ามาจากการสูญเสียเวลาไปกับการเดินไปปิด-เปิดสวิทช์ลำเลียงเนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูป การนำกล่องปลาที่พียที่ไม่ผ่านมาตรฐานจากเครื่องขึ้นรูปน้ำหนักอัตโนมัติกลับไปแก้ไขยังขั้นตอนการบรรจุกล่องใหม่ ทำให้ต้องสูญเสียเวลาไปกับขั้นตอนดังกล่าวมาก ส่งผลให้อัตราการผลิตต่อชั่วโมงไม่ได้ตามเป้าหมาย และอีกส่วนคือขั้นตอนการปิดเศษขนมปังออกจากกล่องปลาที่พียก่อนจะเข้าเครื่องห่อและอบฟิล์ม ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม แต่ต้องใช้อัตรากำลังคน 1 คน ในการทำงาน ซึ่งกระบวนการทำงานต่อ 1 ครั้งในการผลิตปลาที่พียใช้เวลา 6751 วินาที ใช้ระยะทาง 126 เมตร แสดงข้อมูล Flow Chart กระบวนการไหลงานของแผนกปลาที่พีย ดังภาพ 8 ก่อนการปรับปรุง

2. สรุปลักษณะของปัญหา

ปัญหาที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิตปลาที่พีย โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Fish Bone Diagram) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งพิจารณาจากเครื่องมือ เครื่องจักร พนักงาน วัตถุดิบ และวิธีการ ดังภาพ 2 แผนภูมิแก๊งปลา



ภาพ 2 แผนภูมิแก๊งปลาสาเหตุและผลของกิจกรรมที่ทำให้อัตราการผลิตต่ำ

3. หาแนวทางการแก้ไขปัญหาดัชนีการผลิตต่ำ

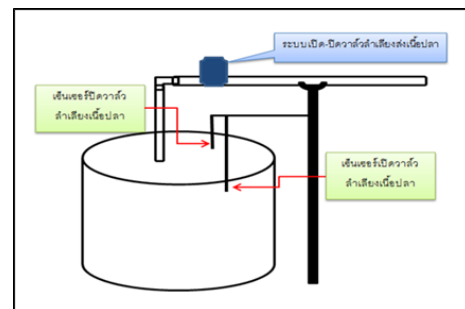
จากการศึกษาขั้นตอนการทำงานและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา เบื้องต้น ผู้วิจัยและฝ่ายวิศวกรรมได้ระดมสมองโดยเลือกแก้ปัญหา คือขั้นตอนการบรรจุกล่อง ขั้นตอนการชั่งน้ำหนักที่ไม่ได้มาตรฐาน และขั้นตอนการปิดเศษเกล็ดขนมปังติดกล่อง มาแก้ไข เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้ ทฤษฎีการปรับปรุงแบบไคเซ็น ซึ่งทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการออกแบบอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานเพิ่ม โดยการออกแบบระบบบวกลวเดิมเนื้อปลาอัตโนมัติ และออกแบบการใช้แปรงปิดเศษเกล็ดขนมปังที่ติดกล่องปลาทิพย์ ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเบื้องต้น สามารถทำได้ง่ายกว่าวิธีการอื่น

4. ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์สนับสนุนการทำงาน

ทางผู้วิจัยและช่างซ่อมบำรุงของโรงงานจึงได้ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานเพิ่ม ให้มีความสอดคล้องกับกระบวนการผลิต และอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานแบบใหม่จะต้องทำให้เกิด วิธีการผลิตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าแบบเดิม ดังภาพ 3 แปรงปิดเศษเกล็ดขนมปังติดกล่องปลาทิพย์ และภาพ 4 ระบบอัตโนมัติบวกลวเดิมเนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูป



ภาพ 3 แปรงปิดเศษเกล็ดขนมปังติดกล่องปลาทิพย์



ภาพ 4 ระบบอัตโนมัติบวกลวเดิมเนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูป

5. ผลการดำเนินงานปรับปรุง

5.1 ความสูญเสียที่เกิดจากการเช็ดเกล็ดขนมปังที่ติดกับกล่องปลาทิพย์ก่อนจะทำการห่อฟิล์ม ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานได้นำระบบ Kaizen ปรับปรุงการทำงาน ในขั้นตอนนี้ ก่อนการปรับปรุงใช้วิธีการเช็ดเกล็ดขนมปังที่ติดกับกล่องปลาทิพย์ดังภาพ 5 ดังนั้นได้ทำการปรับปรุงโดยใช้แปรงติดกับสายพานลำเลียงกล่องปลาทิพย์ ดังภาพ 6 ทำให้สามารถลดพนักงานในขั้นตอนนี้ได้ 1 คน จากการใช้แปรงปิดเกล็ดขนมปังติดกับสายพานลำเลียงนั้นทำให้มีเศษเกล็ดขนมปังตกหล่นลงพื้น ทำให้เกิดความสกปรกต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงโดยนำถาดรองรับเกล็ดขนมปังติดกับชุดสายพานลำเลียงเพื่อเป็นถาดรองรับเศษขนมปังดังภาพ 7



ภาพ 5 ก่อนปรับปรุงเซตเกล็ดขนมปังที่ติดกล่องปลาทิพย์ด้วยคน



ภาพ 6 หลังปรับปรุงเซตเกล็ดขนมปังที่ติดกล่องปลาทิพย์ด้วยแปรง



และภาพ 7 ถาดรองรับเศษขนมปัง

ตาราง 3 เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลที่ได้รับ
ใช้พนักงานในการตรวจสอบและ เซตเศษเกล็ดขนมปังติดกล่องปลา ทิพย์เฉลี่ยวันละ 4,771 กล่องต่อ วัน (1 กล่องมีน้ำหนัก 500 กรัม) <u>ค่าแรงงาน</u> 38.50 บาทต่อชั่วโมง 308 บาทต่อวัน 8,008 บาทต่อเดือน 96,096 บาทต่อปี	ใช้แปรงติดกับสายพานลำเลียงปัดเกล็ด ขนมปังแทน และถาดรองรับเศษขนมปัง ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ดังนี้ 1.ค่าแปรง 1,270 บาท 2.ค่าอุปกรณ์ 560 บาท 3. ค่าแรงงานในการติดตั้ง 400 บาท รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด 2,230 บาท	สามารถลดพนักงานในจุดนี้ได้ 1 คน สามารถลดค่าใช้จ่าย ด้านค่าแรงงานได้ 308 บาท ต่อวัน 8,008 บาทต่อเดือน 96,096 บาทต่อปี สามารถคืนทุนได้ภายใน 7.24วัน

5.2 จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตพบว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากการไม่มีระบบ
อัตโนมัติสนับสนุนการทำงานและขาดอุปกรณ์ช่วยทำงานในขั้นตอนการลำเลียงเนื้อปลาทิพย์เข้า
เครื่องขึ้นรูป ส่งผลให้ขั้นตอนการบรรจุปลาทิพย์ลงกล่อง มีกำลังการผลิตต่ำกว่าเป้าหมาย เนื่องจาก
พนักงานที่บรรจุกล่องปลาทิพย์ต้องมีการเคลื่อนไหวในการเดินไปปิด – เปิดสวิตช์วาล์วในการลำเลียง
เนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูป ทำให้สูญเสียเวลา 600 วินาที ระยะทาง 15 เมตร ต่อการผลิตปลาทิพย์ 1

ลือต นอกจากนี้ยังมีอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดงานในระหว่างการผลิตเพิ่มขึ้น คือการนำกล่องบรรจุปลาที่พืชน้ำหนักไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานไปแก้ไข โดยผลิตภัณฑ์ที่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานนี้ยังเป็นตัวชี้วัดด้านประสิทธิผล ปัจจุบันคือร้อยละ 52.02 โดยมีเป้าหมายที่ร้อยละ 75 ส่งผลให้กำลังการผลิตต่ำเป้าหมาย และทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำงานล่วงเวลาเพิ่มขึ้น ดังตาราง 4 บันทึกการ Reject จากเครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ

ตาราง 4 ตารางบันทึกการ Reject จากเครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ

บันทึกการ Reject จากเครื่องชั่งน้ำหนักอัตโนมัติ ปี 2560							
เดือน	จำนวนแพ็ค ที่ผ่านเครื่อง ชั่ง	น้ำหนักที่ได้ มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์	น้ำหนักต่ำ กว่า มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์	น้ำหนัก มากกว่า มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์
มกราคม	187,872	102,701	54.67	12,517	6.66	72,654	38.67
กุมภาพันธ์	206,877	112,311	54.39	14,328	6.93	80,238	38.89
มีนาคม	182,722	87,324	47.79	9,596	5.25	85,802	46.96
เมษายน	198,426	108,690	54.78	10,209	5.14	79,527	40.08
พฤษภาคม	210,897	102,311	48.51	13,386	6.35	95,200	45.14
รวม	986,794	513,337	260	60,036	30	413,421	210
เฉลี่ย	197,358.8	102,667.4	52.02	12,007.2	6.02	82,684.2	41.9

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัย ช่างซ่อมบำรุงและวิศวกรการผลิตของโรงงานได้มีการระดมความคิดเห็นในการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียโดยการออกแบบอุปกรณ์สนับสนุนการทำงานโดยได้นำระบบอัตโนมัติมาใช้ในการลำเลียงเนื้อปลาที่พืชน้ำหนักเข้าเครื่องขึ้นรูปปลาที่พืชน้ำหนักงานบรรจุกล่องปลาที่พืชน้ำหนักที่ต้องสลับเวียนกันเดินไปเปิด - ปิดสวิทช์ไฟฟ้าเพื่อให้มอเตอร์ส่งลำเลียงเนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูปปลาที่พืชน้ำหนัก ซึ่งทำให้สูญเสียเวลา 600 วินาที ระยะทาง 15 เมตร ต่อการผลิตปลาที่พืชน้ำหนัก 1 ลือต การผลิตปลาที่พืชน้ำหนักในแต่ละวันเฉลี่ย 20 ลือต ต้องสูญเสียเวลา 12,000 วินาที ระยะทาง 300 เมตร หรือสูญเสียเวลา 3.3 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้อัตราการผลิตต่อชั่วโมงไม่ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดและทำให้ให้คุณภาพด้านน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

ผลจากการระดมความคิดเห็น จึงได้นำระบบวาล์วเปิด-ปิดอัตโนมัติที่มีระบบเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมการป้อนเนื้อเข้าเครื่องขึ้นรูปปลาที่พืชน้ำหนักให้มีความสม่ำเสมอทดแทนการควบคุมโดยพนักงาน ผลการปรับปรุงทำให้ลดเวลาในเคลื่อนไหวที่ต้องสลับเวียนกันเดินไปเปิด - ปิดสวิทช์ไฟฟ้าเพื่อให้มอเตอร์ส่งลำเลียงเนื้อปลาเครื่องขึ้นรูปลดการสูญเสียเวลา 600 วินาที ระยะทาง 15 เมตร ต่อการผลิตปลาที่พืชน้ำหนัก 1 ลือต การผลิตปลาที่พืชน้ำหนักในแต่ละวันมีเฉลี่ย 20 ลือต ให้ลดเวลา 12,000 วินาที ระยะทาง 300 เมตร หรือลดการเคลื่อนไหว 3.33 ชั่วโมงต่อวัน และทำให้อัตราการผลิตต่อชั่วโมงการทำงานเพิ่ม

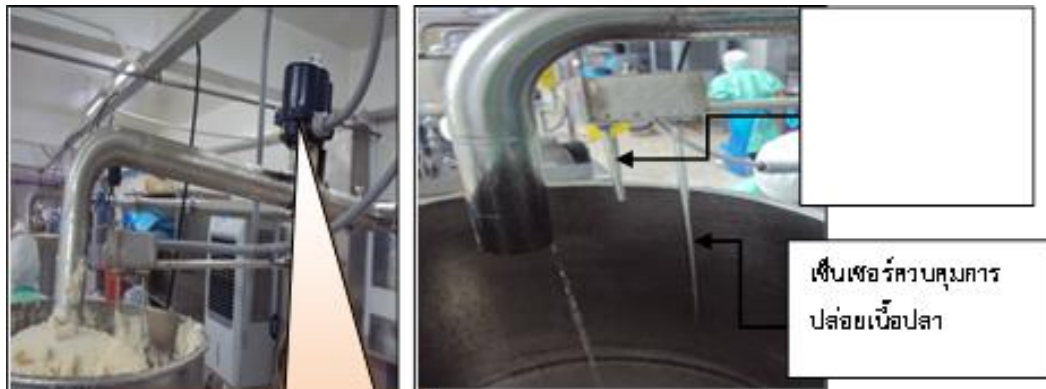
พนักงานชุดบรรจุปลาทิพย์ทำงานได้อย่างเต็มที่และทำให้ผลผลิตที่มีคุณภาพด้านน้ำหนักเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถลดขั้นตอนการทำงานลดได้ 2 ขั้นตอนดังภาพ 8 Flow Chart กระบวนการไหลของแผนกปลาทิพย์ ภาพ 9 ภาพ 10 (ก่อน-หลังปรับปรุง) และภาพ 11 กราฟแสดงอัตราการการผลิตกิโกรัมต่อชั่วโมงหลังปรับปรุง

กระบวนการ / ขั้นตอนย่อย	ก่อนปรับปรุง						หลังปรับปรุง					
	จำนวนคน	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)				จำนวนคน	เวลา (วินาที)	ระยะทาง (เมตร)			
1.เตรียมเนื้อปลา/ส่วนผสม/กล่องเปล่า	4	60	30				4	60	30			
2.สับผสมเนื้อปลากับเกลือ	1	1200	-				1	1200	-			
3.ปั้นผสมเนื้อปลากับส่วนผสม	2	1500					2	1500				
4.ลำเลียงเนื้อปลาเข้าFeed Pump		480						480				
5.ลำเลียงเนื้อปลาเข้าเครื่องขึ้นรูป	1	600	15									
6.ขึ้นรูปปลาทิพย์	6	1200	-				6	1200	-			
7.บรรจุกล่อง	8	1200	-				8	1200	-			
8.ลำเลียงกล่องปลาทิพย์ด้วยสายพานลำเลียง		33	10					33	10			
9.ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งอัตโนมัติ	1	33	-				1	33	-			
10.นำกล่องปลาทิพย์ที่น้ำหนักไม่ได้มาตรฐานไปแก้ไข	1	180	1				1	180	1			
11.ตรวจปิดเกล็ดขนมปังที่ติดกล่องปลาทิพย์	1	40	-									
12.ห่อฟิล์มและอบฟิล์ม	2	15	-				2	15	-			
13.ตรวจเช็คการห่อฟิล์มและจัดเรียงกล่องใส่รถเข็น	3	210	-				3	210	-			
14.ลำเลียงด้วยรถเข็นเพื่อนำไปเก็บฟรีดแช่เยือกแข็ง		70						70				
รวมกระบวนการผลิต	30	6751	126	8	4	1	28	6111	111	8	3	1

ภาพ 8 Flow Chart กระบวนการไหลงานของแผนกปลาทิพย์ (ก่อน-หลังปรับปรุง)



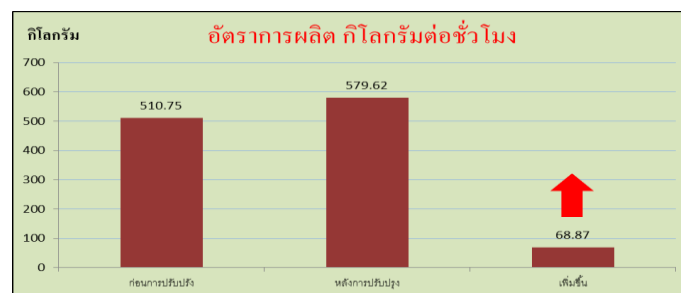
ภาพ 9 ก่อนการปรับปรุงการลำเลียงเนื้อปลาที่พลงเครื่องขึ้นรูปทิพย์



ตัว ควบคุมการเปิด-ปิดอัตโนมัติ

เส้นเซอร์ควบคุมการ
ปล่อยเนื้อปลา

ภาพ 10 หลังการปรับปรุงการลำเลียงเนื้อปลาที่พลงเครื่องขึ้นรูปทิพย์



ภาพ 11 กราฟแสดงอัตราการกำลังการผลิตกิโลกรัมต่อชั่วโมงหลังปรับปรุง)

ตารางที่ 5 แสดงอัตราการผลิตเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

อัตราการผลิต	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลที่ได้รับ
กิโลกรัมต่อชั่วโมง	510.75	579.62	68.87 
ต้นทุนการผลิตบาทต่อกิโลกรัม	69.51	66.13	3.38 
คิดเป็นเงิน	35,502.23	38,330.27	232.78

ผลหลังการปรับปรุง สามารถเพิ่มอัตราการผลิตได้ 68.87 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และลดต้นทุนการผลิตได้ 3.38 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นเงิน 232.78 บาทต่อกิโลกรัม

ตาราง 6 ตารางบันทึกการ Reject จากเครื่องซึ่งน้ำหนักอัตโนมัติก่อน-หลังปรับปรุง

การปรับปรุง	จำนวนแพ็คเกจผ่านเครื่องทั้งหมด	น้ำหนักที่ได้ตามมาตรฐาน	ร้อยละ	น้ำหนักที่ต่ำกว่ามาตรฐาน	ร้อยละ	น้ำหนักมากกว่ามาตรฐาน	ร้อยละ
ก่อนการปรับปรุง	197,358.80	102,667.40	52.02	12,007.20	6.08	82,684.20	41.90
หลังการปรับปรุง	244,730.00	191,452.28	78.23	10,303.13	4.21	42,974.59	17.56
ผลที่ได้รับ	47,371.20	88,784.88	 26.21	1,704.07	1.87	39,709.61	24.34

ผลบันทึกการ Reject จากเครื่องซึ่งน้ำหนักอัตโนมัติหลังการปรับปรุงสามารถทำให้คุณภาพด้านน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานร้อยละ 78.23 มากกว่าก่อนปรับปรุง 26.21 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกินค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ร้อยละ 75

6. การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาต่างๆ สามารถลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้ และทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของการผลิตปลาที่ขี้ได้ซึ่งได้จากการคำนวณก่อนและหลังการปรับปรุงดังตาราง 7 แสดงรายละเอียดก่อน และหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลที่ได้รับ
พนักงาน (คน)	30	28	2
ค่าแรงชั่วโมงเฉลี่ย (บาทต่อคน)	40.18	40.18	-
ผลิตปลาที่ขี้เฉลี่ย (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	510.75	579.62	68.87
ค่าแรงการผลิตต่อกิโลกรัม (บาทต่อกิโลกรัม)	2.36	1.94	0.42
ต้นทุนการผลิต (บาทต่อกิโลกรัม)	69.51	66.13	3.38
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ (บาท)	-	93,350	93,350
จุดคุ้มทุน (;วัน)	-	4.48	4.48

สรุปและอภิปรายผล

1.การปรับปรุงขั้นตอนการตรวจสอบและเช็คเกล็ดขนมปังที่ติดมากับกล่องปลาทิพย์ โดยใช้แปรงปัดแทนพนักงาน และเพิ่มถาดรองรับเศษขนมปังทำให้สามารถลดพนักงานได้ 1 คน และลดขั้นตอนการทำงานลงได้ 1 ขั้นตอน

2.การปรับปรุงขั้นตอนการลำเลียงเนื้อปลาทิพย์เข้าเครื่องขึ้นรูปปลาทิพย์ โดยปรับปรุงใช้ระบบอัตโนมัติในการลำเลียงเนื้อปลาทิพย์เข้าเครื่องขึ้นรูปปลาทิพย์ทดแทนพนักงานจากเดิมโดยการเดินไปปิด-เปิดสวิตช์ ทำให้สามารถลดพนักงานได้ 1 คน และลดขั้นตอนการทำงานลงได้ 1 ขั้นตอน

ภาพรวมส่งผลให้อัตราการผลิตเพิ่มขึ้น 1.08 เปอร์เซ็นต์ หรือ 15,531.20 กิโลกรัมต่อเดือน ค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงลดลง 361,022.19 บาทต่อเดือน ต้นทุนค่าแรงเฉลี่ยลดลง 8.77 บาทต่อกิโลกรัม จำนวนชั่วโมงล่วงเวลาลดลง 285.24 ชั่วโมง ค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงล่วงเวลาลดลง 17,191.30 บาทต่อเดือน ต้นทุนค่าแรงล่วงเวลาเฉลี่ยลดลง 0.21 บาทต่อกิโลกรัม สามารถลดต้นทุนการผลิตลง 3.38 บาทต่อกิโลกรัม และสามารถทำให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เพิ่มขึ้น 26.21 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ 93,350 บาท และจุดคุ้มทุน 4.48 วัน

ข้อเสนอแนะ

ปัจจัยสำคัญในการนำเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาใช้ได้อย่างประสบผลสำเร็จ สิ่งสำคัญประการแรก คือผู้บริหารต้องเห็นความสำคัญและให้การสนับสนุน มีการฝึกอบรมให้ความรู้แก่พนักงานทุกระดับ และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ผู้บริหารต้องยอมรับในการเปลี่ยนแปลง ไม่ว่าจะเป็นเทคนิคใหม่ๆหรือการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของคน การสนับสนุนในเรื่องการลงทุน ไม่ต่อต้านกับวิธีการใหม่ที่บางครั้งการเริ่มต้นอาจจะทำให้เกิดการลงทุนสูง แต่ในระยะยาวอาจจะทำให้องค์กรมีผลกำไรมากขึ้น ประการที่สองตัวพนักงานต้องไม่มีการต่อต้านในการปรับปรุงวิธีการทำงานและต้องยอมรับวิธีการทำงานแบบใหม่ ยอมรับในการเพิ่มความรู้ การอบรมดังนั้น องค์กรจำเป็นต้องช่วยให้ความรู้และส่งเสริมสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงในการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิตให้กับองค์กรเองได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณฝ่ายวิศวกรรม หัวหน้าฝ่ายผลิต คุณอรุณศรี วรรณรัตน์ และคุณจรัญ หวังจิ, บริษัท แปซิฟิคแปรรูปสัตว์น้ำ จำกัด จังหวัดสงขลา ซึ่งคอยให้ข้อมูล และคำปรึกษา

เอกสารอ้างอิง

- ขวัญใจ โชคไพบูลย์ การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีน: กรณีศึกษากระบวนการผลิตเสื้อสิ่งพิมพ์ (2555) .ปริญญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- จิรวุฒิ ทวีศรี. การปรับปรุงสายการผลิตสำหรับโรงงานปลาบรรจุกระป๋อง, (2543) ISBN 974-346-397-6
- จำเนียร กิติปกุล การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิตในสถานประกอบการนิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ ระยอง (2559) ปริญญาตริ สาขาพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา การประชุมวิชาการระดับชาติสหวิทยาการเอเชียอาคเนย์ ครั้งที่ 3
- ณัฐยศ สมขำนุ การลดกระบวนการรอคอยงานในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษ (2555) วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรมคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพฯ,
- दनัยนาท นิ่มนวล การปรับปรุงสายการผลิตในกระบวนการผลิต Engine Pipe 2554
- พิทรพนธ์ พิทักษ์ ศึกษากระบวนการผลิตเพื่อการเพิ่มผลผลิตกรณีศึกษา อุตสาหกรรมล่างขวด 2552..
- .สุภาภรณ์ ดาวสุก. การประยุกต์ใช้แนวคิดลีนเพื่อเพิ่มผลิตภาพ: กรณีศึกษาระบบจัดการสินค้ากลุ่มเบเกอรี่ของร้านสะดวก (2558) ชื่อวารสารวิชาการบริหารธุรกิจสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท.) ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 ประจำเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2558.
- สุวิชาญ เตียวสกุล การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเนื้อปลาพูน่านึ่งสุกแช่เย็น สงขลา 2556
- สำนักพัฒนาการค้าและธุรกิจการเกษตรและอุตสาหกรรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ (ฉบับที่ 42/2559,Volume 42/2016)
- การศึกษาการทำงาน (Work Study) การศึกษาวิธีการทำงาน (Method Study)และการศึกษาเวลา (Time Study) WWW.research-system.siam.edu 28 กรกฎาคม 2560 .