การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มความแข็งแรงการปิดผนึกในกระบวนการปิดผนึกถุงผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก

Determination of Appropriate Parameter Settings for Increasing Seal Strength in Detergent Sampling Process

สรรค์ วิริยะดำรงค์[1]* และ ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา[2]*

[1]สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาคพิเศษ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
[2]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
E-mail: san.vi@ku.th[1]* , fengpsa@ku.ac.th[2]*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแนวปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ในผลิตภัณฑ์ผงซักฟอก โดยเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองระหว่างวิธี Box Benkhen และวิธี Central Composite พบว่าระดับของปัจจัยที่ได้จากการออกแบบทั้งสองวิธี มีผลให้ความแข็งแรงของแนวปิดผนึกมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตามการออกแบบวิธี Box Benkhen ให้ระดับของปัจจัยอุณหภูมิที่ต่ำกว่าทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่าแต่วิธี Central Composite ให้ระดับของปัจจัยระยะเวลาที่ใช้สั้นกว่า ทำให้เพิ่มโอกาสในการเพิ่มอัตราการผลิต

คำสำคัญ : การออกแบบการทดลอง พื้นผิวตอบสนอง ความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อน

Abstract

The purpose of this research was to determine the appropriate parameter setting for improving seal strength in detergent packaging by comparing between Box Benkhen Design and Central Composite Design. Both designs result in seal strengths that are greater than standard. However, Box Benkhen Design employs lower temperature level and results in energy-saving. The Central Composite Design applies shorter sealing time so the machine cycle time will be reduced and increases the opportunity for productivity improvement.

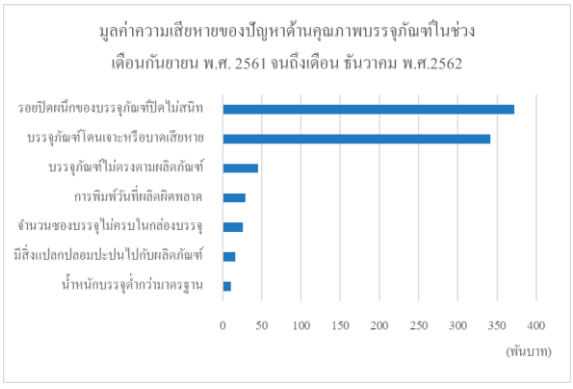
Keywords : design of experiment, response surface methodology, heat seal strength

1. บทนำ

ต้นทุนคุณภาพคือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระบบหรือกระบวนการซึ่งเกิดขึ้นเพิ่มเติมจากค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนปกติที่คาดการณ์ไว้ โดยต้นทุนดังกล่าวสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ ต้นทุนที่ควบคุมได้ (Controllable Cost) และ ต้นทุนที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Cost) [1]

การประเมินมูลค่าความสูญเสียของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าผงซักฟอกกรณีศึกษาได้นำต้นทุนที่ควบคุมไม่ได้มาคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต (Pareto) แสดงในรูปที่ 1

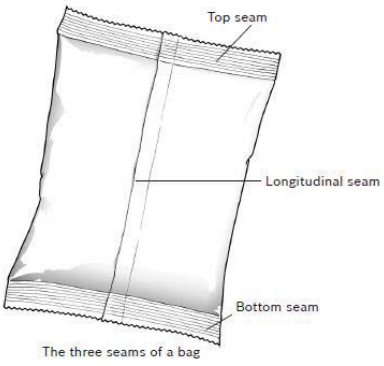
เมื่อพิจารณามูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากปัญหาด้านคุณภาพพบว่า ปัญหาที่มีมูลค่าความสูญเสียมากที่สุดได้แก่ ปัญหารอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ปิดไม่สนิท คิดเป็นร้อยละ 44.23 ของมูลค่าความเสียหายที่เกิดจากปัญหาบรรจุภัณฑ์ ดังนั้นภายในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัญหารอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ปิดไม่สนิทเพื่อลดของเสียจากกระบวนการบรรจุ



รูปที่ 1 แผนภูมิพาเรโตมูลค่าความเสียหายของปัญหาคุณภาพในช่วง กันยายน พ.ศ. 2561 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2562

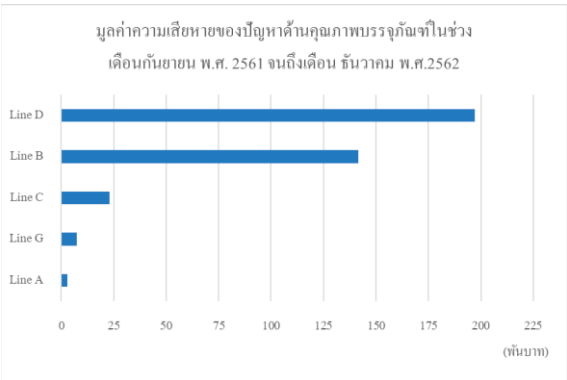
ตำแหน่งของรอยปิดผนึกบนบรรจุภัณฑ์ประกอบด้วยสามตำแหน่งดังนี้ รอยปิดผนึกแนวปาก รอยปิดผนึกแนวก้น และรอยปิดผนึกแนวยาวแสดงในรูปที่ 2

ในกระบวนการบรรจุ การปิดผนึกแนวปากและแนวก้นเกิดขึ้นพร้อมกันแต่การปิดผนึกตามแนวยาวเกิดขึ้นต่างขั้นตอนออกไป ทำให้สามารถแบ่งปัญหาออกเป็นสองปัญหาได้แก่ ปัญหารอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ปิดไม่สนิทที่ตำแหน่งแนวปากหรือก้นและปัญหารอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ปิดไม่สนิทที่ตำแหน่งแนวยาว



รูปที่ 2 ตำแหน่งของแนวปิดผนึกบนบรรจุภัณฑ์

เมื่อพิจารณาปัญหารอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ปิดไม่สนิทตามเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พบว่าเครื่องจักร line D มีมูลค่าความสูญเสียจากปัญหามากที่สุด แสดงในรูปที่ 3



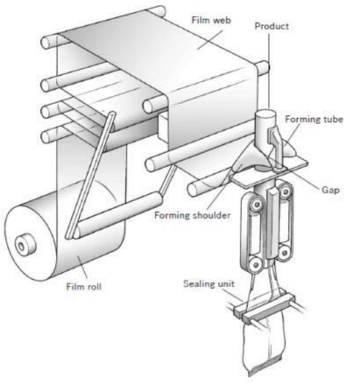
รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตมูลค่าความเสียหายของปัญหารอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ปิดไม่สนิทแบ่งตามเครื่องจักร ในช่วง กันยายน พ.ศ. 2561 ถึง ธันวาคม พ.ศ.2562

จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงเน้นการศึกษาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของการปิดผนึกด้วยความร้อนของเครื่องจักร Line D เป็นสินค้าขนาดบรรจุ 900 กรัม และบรรจุในฟิล์มลามิเนต (Laminated films) ชนิด PET/LLDPE (Polyethylene terephthalate / Linear Low Density Polyethylene) เพื่อพยายามลดปัญหาที่มีมูลค่าความสูญเสียมากที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องขึ้นรูปและบรรจุในแนวดิ่ง (Vertical Form, Fill, and Seal Machine) อาศัยการร่วงหล่นของผลิตภัณฑ์ตามแรงโน้มถ่วงของโลก เพื่อบรรจุเข้ากับถุงบรรจุภัณฑ์ และทำการปิดผนึกเมื่อบรรจุผลิตภัณฑ์เรียบร้อยแล้วแสดงในรูปที่ 4 [2]

ปัจจัยที่สำคัญต่อการเชื่อมต่อของเนื้อฟิล์ม ได้แก่ อุณหภูมิของแถบโลหะ แรงกดของแถบโลหะเข้ากับฟิล์ม และระยะเวลาของการให้ความร้อน [3]



รูปที่ 4 กระบวนการขึ้นรูปและบรรจุในแนวดิ่ง

การทดสอบความแข็งแรงของรอยปิดผนึกฟิล์มโดยการดึงลอกโดยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) โดยการควบคุมความกว้างของแนวปิดผนึกด้วยความร้อน ระยะของการดึง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของการดึง และบันทึกค่าของแรงดึงสูงสุดก่อนเกิดความเสียหายต่อชิ้นงานด้วยโหลดเซลล์ [4]

$$SS = \frac{F}{W} \quad (1)$$

เมื่อ

SS คือ ค่าความแข็งแรงของแนวปิดผนึก (N/mm)

F คือ แรงที่มากที่สุดที่วัดได้จากการทดสอบการดึง (N)

W คือ ความกว้างของแถบปิดผนึกด้วยความร้อน (mm)

การตรวจเอกสารสามารถระบุปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขั้นตอนการเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อน และการทดสอบความแข็งแรง เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM F88/F88M (Standard Test Method for Seal Strength of Flexible Barrier Material) เช่นเดียวกับบริษัทกรณีศึกษา

3. วิธีการ

3.1 การกำหนดระดับของปัจจัย

การทดสอบความแข็งแรงของรอยปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์จากเครื่องจักร Line D ก่อนเริ่มทำการทดลองเพื่อเป็นค่าอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบผลการทดลอง โดยการวัดค่าความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อน กำหนดที่สามตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งแนวปาก แนวก้น และแนวยาวของบรรจุภัณฑ์ โดยเทียบความแข็งแรงกับค่ามาตรฐานของการทดสอบของบริษัทกรณีศึกษาที่ 30 N/15 mm ด้วยสมการที่ (1)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนตำแหน่งของแนวปิดผนึกทั้งสามแนวกับค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงต่อแรงดึงพบว่า ทั้งสามตำแหน่งมีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงเฉลี่ยต่ำกว่าค่าความแข็งแรงมาตรฐานทั้งสามตำแหน่ง แสดงในรูปที่ 5

การเลือกระดับของปัจจัยที่จะนำมาศึกษาของกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนพิจารณาร่วมกับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตทั้งหมด ผ่านกระบวนการระดมสมอง (Brainstorming) สามารถสรุปปัจจัยที่ผ่านการเลือกได้เป็นสามกลุ่มของปัจจัยดังนี้

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	2	4011.7	2005.87	182.65	0.000
Error	69	757.8	10.98		
Total	71	4769.5			

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
แนวปากบรรจุภัณฑ์	24	28.016	4.142	(26.667, 29.366)
แนวก้นบรรจุภัณฑ์	24	12.380	3.160	(11.030, 13.729)
แนวยาวบรรจุภัณฑ์	24	28.405	2.409	(27.056, 29.755)

Pooled StDev = 3.31395

รูปที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อนก่อนการทดลอง

กลุ่มที่หนึ่งปัจจัยด้านอุณหภูมิได้แก่ ปัจจัย A อุณหภูมิปิดผนึกในแนวขวาง (°C) และปัจจัย B อุณหภูมิปิดผนึกในแนวยาว (°C)

กลุ่มที่สองปัจจัยด้านแรงกดได้แก่ ปัจจัย C ระยะห่างของการกดแนวขวาง (mm) และปัจจัย D ระยะกดของสปริงแนวยาว (mm)

กลุ่มที่สามปัจจัยด้านเวลาได้แก่ ปัจจัย E เวลาให้ความร้อนแนวขวาง (msec) ปัจจัย F เวลาแถบให้ความร้อนยกตัวในแนวยาว (msec) และปัจจัย G เวลาหยุดรอก่อนปล่อยผงซักฟอกลงบรรจุ (msec)

ปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้งเจ็ดปัจจัยนั้นทั้งหมดเป็นปัจจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Factor) ทั้งหมด ดังนั้นเพื่อครอบคลุมช่วงระดับของปัจจัยอย่างครบถ้วนจึงศึกษาระดับของปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของการปิดผนึกด้วยความร้อน ด้วยวิธีการแปรผันทีละปัจจัย (One Factor at a Time)

ระดับของปัจจัยมากที่สุดและน้อยที่สุด กำหนดจากการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เริ่มทำให้เนื้อฟิล์มลามิเนตหลอมละลายติดกันเป็นระดับของปัจจัยที่น้อยที่สุดและเนื้อฟิล์มลามิเนตเริ่มเสียหายเป็นระดับของปัจจัยที่มากที่สุด

ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยสรุปได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับของปัจจัยสำหรับการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย

ปัจจัย	ระดับต่ำสุด	ระดับสูงสุด
A	150	190
B	170	210
C	0.1	0.5
D	1.0	2.0
E	250	550
F	0	200
G	500	700

3.2 การทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย

การออกแบบการทดลองสำหรับการคัดกรองปัจจัย ใช้การทดลอง $2^{(7-3)}$ มี 2 block จากรอบผลิตฟิล์ม (lot) และมีการทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองดังกล่าวจัดอยู่ใน resolution IV และมีค่าอำนาจการทดสอบ 97 % เมื่อศึกษาที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความแข็งแรงของรอยปิดผนึกด้วยความร้อนที่ 3.2 นิวตันต่อ 15 มิลลิเมตรและความแตกต่างของความแข็งแรงที่ศึกษาอยู่ที่ 4.8 นิวตันต่อ 15 มิลลิเมตร (1.5 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญของที่อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (α = 0.05) ของแต่ละตำแหน่งของบรรจุภัณฑ์สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2

โดยปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงแนวปาก ได้แก่ อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AB และ AE ความแข็งแรงแนวก้นได้แก่ อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย AB AE และปัจจัยหลัก G และความแข็งแรงแนวยาว ได้แก่ ปัจจัยหลัก G

ตารางที่ 2 ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ทั้งสามตำแหน่ง

ตัวแปรตอบสนอง	ปัจจัย
Y1 ความแข็งแรงของแนวปาก	A B และ E
Y2 ความแข็งแรงของแนวก้น	A B E และ G
Y3 ความแข็งแรงของแนวยาว	G

3.3 การวิเคราะห์ตัวแปรผิวสะท้อน

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาตัวแปรผิวสะท้อน สองการออกแบบการทดลองได้แก่ วิธี Box Benkhen และ วิธี Central Composite เพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้และเปรียบเทียบความเหมาะสมของการออกแบบรูปแบบไหนที่สามารถนำไปใช้กับกระบวนการปิดผนึกด้วยความร้อนของการบรรจุแบบเครื่องขึ้นรูปและบรรจุในแนวดิ่ง

การออกแบบการทดลองวิธี Box Benkhen ศึกษาตัวแปรจำนวน 4 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ มีการทดลองทั้งสิ้น 27 การทดลอง และวิธี Central Composite ใช้จำนวนและระดับของปัจจัยเช่นเดียวกัน แต่มีจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 31 การทดลอง สรุปได้ตามตารางที่ 3

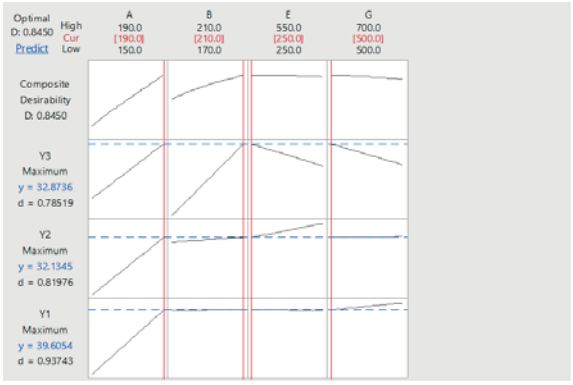
ตารางที่ 3 ระดับของปัจจัยที่ใช้ออกแบบการทดลองวิเคราะห์ตัวแปรผิวสะท้อน

ปัจจัย	ระดับ -1	ระดับ 0	ระดับ +1
A	150	170	190
B	170	190	210
E	250	400	550
G	500	600	700

3.4 ผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ซอฟต์แวร์ minitab 18 และฟังก์ชั่น process optimizer แสดงในรูปที่ 6 พบว่าทั้งสองการออกแบบการทดลอง ให้ค่าระดับของปัจจัยที่แตกต่างกันโดยวิธีการออกแบบการทดลองวิธี Box Benkhen กำหนดค่าระดับของปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ต่ำกว่า และการออกแบบการทดลองวิธี Central Composite กำหนดค่าระดับของปัจจัยด้านเวลาที่ต่ำกว่า สรุปได้ตามตารางที่ 4

การออกแบบการทดลองทั้งสองยังสามารถกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่สามารถให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแนวปิดผนึกทั้งสามตำแหน่ง มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานได้



รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ process optimizer ของการออกแบบการทดลอง Central Composite

ตารางที่ 4 ระดับของปัจจัยที่ใช้ออกแบบการทดลองวิเคราะห์ตัวแปรผิวสะท้อน

ปัจจัย	BBD	CCD
A อุณหภูมิปิดผนึกในแนวขวาง (°C)	150	190
B อุณหภูมิปิดผนึกในแนวยาว (°C)	210	210
E เวลาให้ความร้อนแนวขวาง (msec)	550	250
G เวลาหยุดรอก่อนปล่อยผงซักฟอกลงบรรจุ (msec)	700	500

3.5 การใช้งานระดับของปัจจัยกับกระบวนการผลิต

ระดับของปัจจัยที่ได้จากการทดลองทั้งสองการทดลอง ได้นำไปใช้งานจริง เพื่อเปรียบเทียบค่าของความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อน พบว่าชุดระดับของปัจจัยทั้งสองสามารถให้ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อนมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ 30 N/15 mm แสดงในรูปที่ 7

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	5	237.5	47.51	3.87	0.005
Error	54	663.7	12.29		
Total	59	901.2			

Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
แนวปากบรรจุภัณฑ์ (BBK)	10	40.11	3.34	(37.89, 42.33)
แนวปากบรรจุภัณฑ์ (CCD)	10	34.89	3.90	(32.66, 37.11)
แนวก้นบรรจุภัณฑ์ (BBK)	10	38.662	2.831	(36.439, 40.884)
แนวก้นบรรจุภัณฑ์ (CCD)	10	39.39	4.26	(37.17, 41.61)
แนวยาวบรรจุภัณฑ์ (BBK)	10	37.40	3.70	(35.17, 39.62)
แนวยาวบรรจุภัณฑ์ (CCD)	10	35.208	2.721	(32.985, 37.430)

Pooled StDev = 3.50570

รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อน

โดยการออกแบบการทดลองวิธี Box Benkhen ที่ตำแหน่งของแนวปากบรรจุภัณฑ์และแนวยาวบรรจุภัณฑ์จะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อนสูงกว่าการออกแบบการทดลองวิธี Central Composite และในแนวก้นบรรจุภัณฑ์การออกแบบการทดลองวิธี Central Composite จะมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อนสูงกว่าการออกแบบการทดลองด้วยวิธี Box Benkhen

4. สรุป

ถึงแม้ว่าชุดของระดับปัจจัยของทั้งสองการออกแบบการทดลองจะให้ค่าความแข็งแรงของแนวปิดผนึกด้วยความร้อนสูงกว่าค่ามาตรฐาน ในแง่ของการใช้พลังงานการออกแบบการทดลองวิธี Box Benkhen กำหนดระดับของปัจจัยด้านอุณหภูมิที่ต่ำกว่าทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่า ส่วนจุดเด่นของการออกแบบการทดลองวิธี Central Composite กำหนดระดับของปัจจัยด้านระยะเวลารวมของการทำงานเครื่องจักรที่ต่ำกว่าทำให้สร้างโอกาสเพิ่มอัตราการผลิตได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ รศ.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงในการให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง พร้อมทั้งให้กำลังใจและข้อคิดต่างๆ

ขอขอบคุณคณะอาจารย์และ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ในวิชาแขนงต่างๆ อันเป็นพื้นฐานสำคัญในการประยุกต์ใช้ดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษาที่สนับสนุนทรัพยากร และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการทดลอง เพื่อผลงานวิจัยที่สมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, 2563, “การออกแบบและควบคุมคุณภาพเชิงสถิติสำหรับวิศวกร Statistical Quality Design and Control for Engineer.” พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ.
2. Bosch Packing Technology, 2014, “Guide to Vertical Form-Fill-Seal Baggers.” America.
3. Troughton M.J, 2008, “Handbook of Plastics Joining.” William Andrew Inc., America.
4. Yuan, C.S. and Hassan, A., 2007, “Effect of bar sealing parameter on OPP/MCPP heat seal strength.”, EXPRESS Polymer Letters, Vol 1, No. 11, pp. 773-779.