การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์

โดย

นางสาววิมลศรี สิทธิกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง
กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์

โดย

นางสาววิมลศรี สิทธิกูล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

DEFECT REDUCTION IN ENDO TRACHEAL TUBE PRODUCTION PROCESS BY APPLING THE DESIGN OF EXPERIMENTS: A CASE STUDY OF MEDICAL DEVICE COMPANY

By

Miss Wimolsree Sitthikool

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Engineering Program in Engineering Management

Department of Industrial Engineering and Management

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2014

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์” เสนอโดย นางสาววิมลศรี สิทธิกูล เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม

…….....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศนวงศ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร)
...../...../.....

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร)
...../...../.....

53405335: สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม
คำสำคัญ: ซิกซ์ ซิกม่า / การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล / อุปกรณ์การแพทย์

วิมลศรี สิทธิกูล: การลดของเสียของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผศ.ดร. ประจวบ กล่อมจิตร. 116 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหาคุณภาพในกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจ บริษัทผลิตอุปกรณ์การแพทย์ โดยลักษณะของเสียที่พบในกระบวนการปิดผนึกภัณฑ์ประเภทที่เกิดรอยซีล (ส่วนเกิน) เป็นรอยยาว ซึ่งปัจจุบันมีอัตราส่วนของเสียอยู่ที่ 8,807 DPPM เทคนิคทางด้านการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ โดยตั้งเป้าหมายว่าจะทำให้ของเสียประเภทที่เกิดรอยซีล (ส่วนเกิน) เป็นรอยยาว ลดลง 50% จากการวิเคราะห์ด้วยการใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากนั้นมาทำการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) พบว่ามี 5 ปัจจัยหลักคือที่อาจจะมีผลกระทบต่อปัญหาการเกิดความลึกของแม่แบบ (Die Depth) อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน (Temperature) เวลาที่ใช้เป่าร้อน (Time) แรงดันเป่าร้อน (Pressure) และ ขนาดของ ผลิตภัณฑ์ (Product Size) จากนั้นใช้เทคนิคการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้งในการหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการปัญหา และใช้สมการความสัมพันธ์ในการหาระดับของปัจจัยทำให้เกิดของเสียที่น้อยที่สุด เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์เหล่านี้ มาดำเนินการผลิตจริงพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียลดลงเหลือ 2,446 DPPM

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ลายมือชื่อนักศึกษา..... ปีการศึกษา 2557
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์.....

53405335: MAJOR: ENGINEERING MANAGEMENT
KEY WORDS: SIX SIGMA / FACTORIAL DESIGN / MEDICAL DEVICE
WIMOLSREE SITTHIKOOL: DEFECT REDUCTION IN ENDO TRACHEAL TUBE PRODUCTION PROCESS BY APPLING THE DESIGN OF EXPERIMENTS: A CASE STUDY OF MEDICAL DEVICE COMPANY. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PRACHUAB KLOMJIT, D.Eng., 116 pp.

This research proposes a quality improvement for Endo Tracheal Tube Production process a case study of Medical Device Company. The defect is sealing excess area that current defective rate about 8,807 DPPM. The six sigma concept is employed to make a significant improvement of this process. The goal of this improvement is to reduce the sealing excess area 50% .The root cause analysis is performed by utilizing the cause and effect diagram and Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). There are 5 key process input variables or factors that potentially affect to sealing excess area are; Die depth, Temperature, Time, Pressure, Product size. Then, 5 replicate of 2^k factorial designs is conducted to determine the significant factors that generate the defect. A regression model is used to find the optimal process parameters which yield us the lowest defective rate of defect. The confirmation experiment is done and guarantees that new process setting can significantly reduce defect to 2,446 DPPM

Department of Industrial Engineering and Management Graduate School, Silpakorn University
Student's signature..... Academic Year 2014
Thesis Advisor’s signature ……

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจวบ กล่อมจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้สละเวลาเวลาอันมีค่าในการให้คำปรึกษา แนะนำ การให้ความรู้ และข้อแก้ไขต่างๆ ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ กรรมการในการสอบที่กรุณาตรวจทานและให้ข้อแนะนำที่ถูกต้องอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย และขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการทุกท่าน

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง สำหรับความช่วยเหลือช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน สำหรับการเข้าศึกษาระดับปริญญาโท และการทำงานวิจัย จนทำให้ผู้วิจัยมีความพยายาม ความมุ่งมั่น จนประสบความสำเร็จในวันนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

กรอบแนวคิดในการวิจัย 3

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

สมมติฐานของการวิจัย 4

ขอบเขตการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

แนวความคิด 5

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

นิยามการจัดการคุณภาพแบบซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) 5

ขั้นตอนในการดำเนินงาน DMAIC ตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า 6

การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing) 8

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) 8

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ 13

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ 19

วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ 20

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

3 วิธีดำเนินการวิจัย 26

ประชากรที่ใช้ในการวิจัย 26

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย 26

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย 26

บทที่ หน้า
การดำเนินงานวิจัย 26
ขั้นตอนการระบุปัญหาที่เกิดขึ้น 27
ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 36
ขั้นตอนวิเคราะห์ปัญหา 54
ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ 55
ขั้นตอนการควบคุม 55
การเก็บรวบรวมข้อมูล 55
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 74
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 74
ผลการทดลองข้อมูลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น 74
การหาสภาวะที่เหมาะสม 80
การเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุง 83
การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 88
สรุปผลการทดลอง 90
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 91
สรุปผลการวิจัย 91
ข้อจำกัดของการวิจัย 93
ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น 93
รายการอ้างอิง 94
ภาคผนวก ผลการทดลอง 96
ประวัติผู้วิจัย 116

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณโอกาสในการเกิดของเสีย และความสามารถกระบวนการ	6
2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k	17
3	เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ 2^2	19
4	ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการบวนการประกอบและการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555	29
5	รายละเอียดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์จากแผนภูมิพาเรโต	32
6	ตารางFMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์	39
7	ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	54
8	แผนการออกแบบการทดลอง	55
9	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบ 3^k ของ 5 ปัจจัย	74
10	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบ 2^k ของ 3 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ และ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม	77
11	ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมผลตอบสนองต่อของเสียที่น้อยที่สุด	80
12	แสดงปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ในช่วงเดือน เมษายน – มิถุนายน 2556	86
13	ระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษาผลตอบสนองต่อของเสีย	92
14	ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมผลตอบสนองต่อของเสียที่น้อยที่สุด	92
15	ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์	97
16	ผลการทดลอง Full factorial 2^k ของ 3 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม	114

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ตัวอย่างของท่อช่วยหายใจ	2
2	ลักษณะการใช้ท่อช่วยหายใจกับผู้ป่วย	2
3	กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
4	ลำดับแผนการดำเนินการวิจัย	27
5	แผนภูมิพาเรโตของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ของ กระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึงเดือนกันยายน 2555	31
6	แผนภูมิพาเรโตของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ของกระบวนการบรรจุท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึงเดือนกันยายน 2555	32
7	ตำแหน่งของรอยปิดผนึกปกติ	33
8	ภาพของเสียของการปิดผนึกบรรภัณฑ์ประเภทที่เกิดรอยซีล (ส่วนเกิน) เป็นรอยยาว	33
9	แผนกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจ	34
10	การวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผลของการเกิดปัญหารอยซีล (ส่วนเกิน) ที่ฟิล์มเป็นรอยยาว	38
11	แสดงแผนภูมิ ผลระดับRPN ของปัจจัยที่ทำให้ เกิดของเสียรอยซีล (ส่วนเกิน) ที่ตำแหน่งอื่นของฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)	53
12	แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้น	75
13	แผนภูมิ แสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลา แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์	75
14	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน	76
15	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 จากการทดลองครั้งที่ 2	78
16	แผนภูมิผลการกระจายตัวของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระ ของส่วนตกค้างจากการทดลองครั้งที่ 2	79
17	แผนภูมิผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 จากการทดลองครั้งที่ 2	79

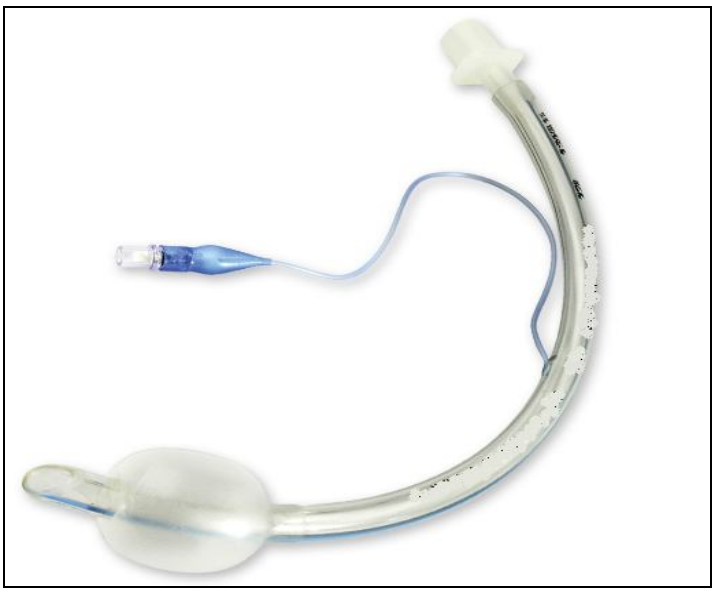
ภาพที่		หน้า
18	แผนภูมิแสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม ที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 จากการทดลองครั้งที่ 2	80
19	แสดงผลการวิเคราะห์ ค่าสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย 3 ปัจจัย คือความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์มที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Minitab	81
20	แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์สำหรับค่าตอบสนองที่ต่ำสุด ของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม ที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2	81
21	แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบข้อมูลที่ระดับ α ที่ 0.05	82
22	แสดงการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบข้อมูลที่ระดับ α ที่ 0.05	82
23	แผนภูมิแสดงความแข็งแรงของปิดผนึกก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	83
24	แผนภูมิแสดงความหนาของ ฟิล์มก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	83
25	แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับแข็งแรงของปิดผนึกก่อนการปรับปรุงกระบวนการ	84
26	แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับแข็งแรงของปิดผนึกหลังการปรับปรุงกระบวนการ	84
27	แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับความหนาของ ฟิล์มก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	85
28	แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับความหนาของ ฟิล์มหลังการปรับปรุงกระบวนการ	85
29	แผนภูมิควบคุมแสดงปริมาณของเสียประเภทรอยซีลซ้ำที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ก่อนการปรับปรุงตั้งแต่เดือน มกราคม 2556 – มีนาคม 2556 และ หลังการปรับปรุงกระบวนการ เมษายน 2557 – มิถุนายน 2557	88
30	แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินที่เกิดขึ้นกับบรรจุก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ	89

บทที่ 1
บทนำ

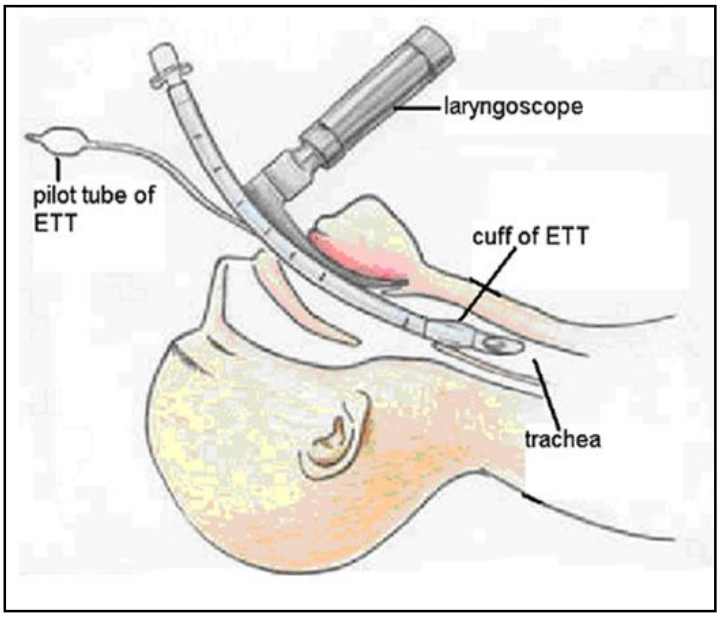
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในประเทศไทยมีผู้ประกอบการในกลุ่มสินค้าเครื่องมือแพทย์และอุปกรณ์ทางการแพทย์จำนวน 250 ราย แบ่งเป็นโรงงานขนาดเล็ก (คนงานไม่เกิน 50 คน) จำนวน 100 ราย โรงงานขนาดกลาง (คนงาน 51-200 คน) จำนวน 100 ราย และโรงงานขนาดใหญ่ (คนงานมากกว่า 200 คน) 50 ราย ซึ่งมีคนงานรวมทั้งสิ้น 200,000 คน สำหรับข้อมูลการส่งออกเครื่องมือแพทย์และอุปกรณ์ทางการแพทย์ในปี 2551-2552 ของไทยมีการส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศที่มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการส่งออกไปยังตลาดญี่ปุ่น เยอรมัน เดนมาร์ค อินโดนีเซีย ตุรกี และสิงคโปร์ ขณะเดียวกันผู้ประกอบการไทยยังต้องเผชิญกับคู่แข่งสำคัญ ได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา จีน อินโดนีเซีย และมาเลเซีย อีกด้วย อุตสาหกรรมกลุ่มเครื่องมือ และอุปกรณ์ทางการแพทย์ ซึ่งหมายถึง เครื่องมืออุปกรณ์ วัสดุ ส่วนประกอบใดๆ ที่นำมาใช้กับร่างการมนุษย์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการวินิจฉัย การป้องกัน การติดตาม การรักษาหรือการบรรเทาโรค เช่น คอนแทคเลนส์ ผ้าพันแผล ถุงยางอนามัย ชุดสายให้เลือด รวมถึงชุดสายให้น้ำเกลือ และสายให้ยา และพบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์ ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่ค่อนข้างสูงมาก แม้ว่าการแข่งขันในตลาดของอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์จะมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ด้วยสภาวะปัญหาทางเศรษฐกิจในปัจจุบันนี้ สิ่งที่ทำให้อุตสาหกรรมทางการแพทย์สามารถเติบโตและแข่งขันอยู่ในตลาดได้ นอกเหนือจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์แล้ว สิ่งสำคัญที่สุดที่ส่งผลให้ผู้ผลิตสามารถดำเนินอุตสาหกรรมด้านนี้ได้อย่างมั่นคงนั้น คือ การลดต้นทุนการผลิตที่มีมากเกินไป ส่วนหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการผลิตมากเกินไป คือ การสูญเสียจากของเสียระหว่างกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอนนั่นเอง

โรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษานี้เป็นโรงงานผลิตเครื่องมือแพทย์ ประเภทท่อช่วยหายใจรายหนึ่งในประเทศไทย โดยเป็นโรงงานที่ผลิตและประกอบชิ้นส่วนของท่อช่วยหายใจตั้งแต่กระบวนการอัดรีดทิวบ์ ประกอบ และนำส่งฆ่าเชื้อ จากนั้นจึงนำส่งขายให้กับบริษัท ซึ่งเป็นตัวแทนจำหน่ายต่อไป เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีการย้ายฐานการผลิตจากฐานการผลิตในประเทศยุโรปมายังประเทศไทย จึงมีความได้เปรียบทางด้านต้นทุนแรงงาน



ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่างของท่อช่วยหายใจ



ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการใช้ท่อช่วยหายใจกับผู้ป่วย

ท่อช่วยหายใจเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับผู้ป่วยที่ไม่สามารถหายใจได้ในสภาวะปกติ ซึ่งนอกจากความสมบูรณ์ของชิ้นส่วน อุปกรณ์แล้ว สิ่งสำคัญที่สุดของอุปกรณ์ทางการแพทย์คือความ

ปลอดเชื้อของผลิตภัณฑ์ ความปลอดเชื้อของผลิตภัณฑ์เกิดจาก การปลอดเชื้อโดยการฆ่าเชื้อ และความสามารถในการคงทนสภาพความปลอดเชื้อจากบรรจุภัณฑ์

ความสามารถในการคงทนสภาพความปลอดจากบรรจุภัณฑ์นั้น ประกอบด้วยปัจจัยจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์และกระบวนการปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ จากการเก็บประวัติจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบและกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555 พบว่าที่จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 2,342,700 ชิ้น พบของเสียทั้งหมด 97,652 ชิ้น หรือ 4.168 % ซึ่งของเสียจากกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์มากเป็นอันดับหนึ่ง และมีของเสียประเภทฟิล์มถูกซีลเป็นรอยยาวเป็นอันดับหนึ่ง 0.881 คือ คิดเป็น 8,807 DPPM ซึ่งจากความสำคัญของกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น การวิจัยครั้งนี้จึงเลือกทำการศึกษาในส่วนของการลดของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยเลือกทำการวิจัยกระบวนการปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์ โดยเลือกวิธีการควบคุมคุณภาพ วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า และการออกแบบการทดลองเพื่อให้เกิดการศึกษาปัญหาและแก้ไขปัญหาอย่างมีระบบ

2. กรอบแนวคิดในการวิจัย

จากการศึกษาถึงระบบการผลิตของโรงงานตัวอย่าง สามารถสรุปเป็นแนวคิดในการศึกษาวิจัย ดังนี้

ปัจจัยอิสระ	เครื่องมือ	ปัจจัยตาม
1. อุปกรณ์ของเครื่องจักร 2. ค่าตั้งเครื่องจักรสำหรับหรับการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ 3. ขนาดและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์	1. พาเรโตไดอะแกรม 2. แผนผังก้างปลา 3. แผนผังความสัมพันธ์ 4. การวิเคราะห์ความเสี่ยงโดยใช้เครื่องมือ FMEA 5. การออกแบบการทดลอง	1. จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบรรจุภัณฑ์โดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

4. สมมุติฐานของการวิจัย

การนำวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้กับการหาสาเหตุของปัญหาและปรับปรุงคุณภาพทำให้ปัญหาถูกดำเนินการอย่างมีลำดับขั้นตอนและแสดงผลในเชิงสถิติอย่างชัดเจนจะทำให้แก้ปัญหาคุณภาพได้อย่างมีระบบ

5. ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปัญหาความสูญเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ประเภทผลิตภัณฑ์ท่อช่วยหายใจในโรงงานผลิตเครื่องมือแพทย์

6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ระบบควบคุมกระบวนการที่ช่วยลดการสูญเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์

6.2 สามารถลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตอันเกิดจากการผลิตชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ ของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์

6.3 เป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กระบวนการ ซิกซ์ ซิกม่า และการออกแบบการทดลองเพื่อแก้ปัญหาด้านคุณภาพของกลุ่มผู้ผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องมือแพทย์

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แนวความคิด

ภายใต้การแข่งขันทางธุรกิจและปัญหาทางเศรษฐกิจที่แต่ละองค์กรต้องเผชิญในโลกปัจจุบันนี้ หลักการบริหารงานในองค์กรจึงมีความสำคัญมาก ซึ่งวัตถุประสงค์หลักในการบริหาร คือ การผลิตสินค้าที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า ส่งมอบทันเวลาและผลิตสินค้าด้วยต้นทุนต่ำ แต่ในอุตสาหกรรมเครื่องมือแพทย์การคำนึงถึงเรื่องคุณภาพของสินค้า และการสนองตอบของผลิตภัณฑ์ต่อการใช้งานเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด เนื่องด้วยการใช้งานที่ต้องเกี่ยวข้องกับร่างกายมนุษย์โดยตรง และการมีมาตรฐานคุณภาพ ISO13485 ที่รวมข้อกำหนดของกฎหมายและข้อกำหนดของการใช้งานเป็นตัวควบคุม แต่หากองค์กรต้องใช้ต้นทุนในการผลิต หรือการคัดแยกการตรวจสอบ ในมูลค่าที่สูงมาก เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้า องค์กรนั้นจะไม่สามารถแข่งขันอยู่ในตลาดได้อย่างถาวร ในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาในเรื่องวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต ที่สามารถลดจำนวนของเสียที่เกิดจากชิ้นงานไม่ได้คุณภาพและผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาต้องมีคุณภาพตรงตามความต้องการของลูกค้าได้อย่างเหมาะสม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามการจัดการคุณภาพแบบซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) [5]

การควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์ ซิกม่า ได้ถูกพัฒนาจนเป็นวิธีการจัดการคุณภาพโดยบริษัท Motorola Corporation เป็นผู้นำในการนำมาปฏิบัติใช้ตั้งแต่ทศวรรษที่ 80 ผู้มีบทบาทสำคัญคือ Mikel Harry and Bob Galvin ได้พยายามปรับปรุงคุณภาพการผลิต โดยพยายามลดของเสียและความแปรปรวน (Variance) ในกระบวนการผลิตให้เกิดน้อยที่สุด จนประสบความสำเร็จสามารถลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มระดับความพึงพอใจให้ลูกค้ามากขึ้น Six Sigma คือวิธีการในการจัดการคุณภาพ โดยมีพื้นฐานบนการใช้วิธีการทางสถิติที่เข้มงวด ควบคุมกระบวนการใช้เครื่องมือทางสถิติดั้งเดิมด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติที่เคร่งครัดและวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ เป้าหมายอยู่ที่รากของปัญหาของความแปรปรวน และให้นิยามความหมายของกระบวนการใหม่สำหรับผลในระยะยาว Sigma (σ) เป็นอักษรกรีกที่เป็นสัญลักษณ์ใช้แทนส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(Standard Deviation) ในความหมายทางสถิติ ระดับของ Sigma ที่สูงขึ้นวัดอัตราของของเสียที่ลดลง และประสิทธิภาพของกระบวนการสูงขึ้นภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ซึ่งปริมาณของเสีย

ตารางที่ 1 ปริมาณโอกาสในการเกิดของเสีย และความสามารถกระบวนการ [16]

Sigma level	โอกาสในการเกิดของเสีย	Cpk
1	697,700 PPM	0.333
2	308,700 PPM	0.667
3	66,810 PPM	1.000
4	6,210 PPM	1.333
5	233 PPM	1.667
6	3.4 PPM	2.000

2.2 ขั้นตอนในการดำเนินงาน DMAIC ตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า [1, 2, 3, 4]

2.2.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการศึกษาความต้องการของลูกค้า อาจได้จากการสำรวจความต้องการหรือข้อมูลการร้องเรียนโดย Black Belt and Champion จะร่วมกันทำงานและนำความต้องการของลูกค้ามากระจายเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของกระบวนการปัญหาคุณภาพต่างๆ ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้ารวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญและถูกเลือกดำเนินการแก้ไขปรับปรุง เมื่อ Black Belt and Champion สามารถกำหนดโครงการแล้ว ก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและคณะทำงานต่อไป สิ่งสำคัญที่จะได้รับจากขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อโครงการ รายละเอียดของปัญหา การดำเนินงาน เป้าหมายโครงการ แผนการดำเนินงาน คณะทำงานและหน้าที่ความรับผิดชอบต่างๆ ของผู้มีส่วนร่วมโครงการ[1, 2, 3, 4]

2.2.2 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ส่วนในขั้นตอนนี้ Black Belt และคณะทำงานจะร่วมกันในการกำหนดแนวทางการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการ ทำการศึกษากระบวนการโดยละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการหรือตัวแปรตอบสนองกระบวนการ (Key Process Output Variables: KPOVs: Ys) และปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variables: Xs) ต่างๆ ของกระบวนการที่ส่งผลต่อ KPOVs ตามสมการ Y = f(X1, X2, …,Xn) กำหนดแนวทางการวัดปัจจัยต่างๆ ทำการวิเคราะห์

ระบบการวัดหากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดมีความผันแปรมากเกินกว่าที่กำหนด จะต้องทำการปรับปรุงระบบการวัดให้ดีก่อน เมื่อยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษาระสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบัน กำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่น่าจะส่งผลกระทบต่อระดับคุณภาพของ Output ของกระบวนการ เพื่อจะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปสิ่งสำคัญที่จะได้จากขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ (KPIVs) ตัวแปรสำคัญที่ได้รับจากระบวนการ (KPOVs) แนวทางการวัดและระบบการวัดที่มีประสิทธิภาพ ระดับประสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบันและสาเหตุที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาข้อเท็จจริง [1, 2, 3, 4]

2.2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ขั้นตอนนี้จะนำเข้าสิ่งสำคัญของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์ผ่านวิธีการทางสถิติเชิงอนุมาน เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ เป็นการวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีนัยสำคัญก็จะนำไปดำเนินการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไปจากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ทำให้เข้าใจในกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่างๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดและศึกษาและทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อปัญหาจริง และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการปรับปรุงอย่างเหมาะสม[1, 2, 3, 4]

2.2.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบและทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง KPOVs กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ KPOV นั้นๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ระดับ KPOVs ที่ดีที่สุด จากนั้นจะดำเนินการวิเคราะห์ระบบการวัดของแต่ละปัจจัย เพื่อทำให้การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนต่อไปเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสิ่งสำคัญที่จะได้รับจากการดำเนินงานขั้นตอนนี้ คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุดกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงจนเหมาะสม และปัจจัยสำหรับการดำเนินการควบคุม[1, 2, 3, 4]

2.2.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตนเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้งเปรียบเทียบกับเป้าหมายในตอนแรก ถ้าหากยังไม่ได้ตามเป้าหมายก็จะต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผล การดำเนินงานโดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุนหรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังจากการปรับปรุงกระบวนการสิ่งสำคัญที่ได้รับจากขั้นตอน

นี้ คือ แผนการควบคุมกระบวนการ หลักฐานการปรับปรุงกระบวนการ บทสรุปการดำเนินงาน และกระบวนการที่ดีขึ้น[1, 2, 3, 4]

2.3 การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing) [9]

จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่าในการวิเคราะห์ผลของการทดลอง โดยใช้วิธีทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าวการตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบจะตั้งสมมติฐานใน 2 ทางเลือก คือ

H_0: ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อกระบวนการผลิต

H_1: ระดับของปัจจัยมีผลต่อกระบวนการผลิต

ทั้งนี้ภายใต้ความเสี่ยง 2 ตัวคือ α และ β

α คือ ความเสี่ยงในการที่จะไม่ยอมรับสมมุติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลักทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงจากความเสี่ยงของทั้ง 2 แบบนี้เอง จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้มีความเชื่อมั่น หรือมีความเสี่ยงตามที่กำหนดไว้ และในการทำการวิเคราะห์ก็มักจะให้ค่าของ α คงที่ และให้ค่า β น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้การตั้งสมมุติฐานจะเป็นการตั้งด้วยความหวังที่จะปฏิเสธ ดังนั้นในการทำการทดสอบสมมุติฐานย่อมมีความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 หากเราจะทำการปฏิเสธสมมุติฐาน-หลัก ในทางปฏิบัติจะเริ่มจากการตั้งสมมุติฐาน ออกแบบการทดลอง ดำเนินการสุ่มตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักนั้น ๆ ในทางปฏิบัติเมื่อตั้งสมมุติฐานได้แล้วจะทำการออกแบบการทดลองตามความเหมาะสม

2.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) [9]

การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจดูว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตและปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิตการออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

2.4.1.1 เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2.4.1.2 เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มี ผลต่อกระบวนการ

2.4.2 คำจำกัดความ (Definition)

2.4.2.1 อิทธิพลหรือผล (Effect) คือ ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

2.4.2.2 ปัจจัย (Factor) คือ สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

2.4.2.3 ระดับของปัจจัย (Level of Factor) คือ สภาวะต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆที่ทำการกำหนดในการทดลอง

2.4.2.4 ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) คือ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆน้อย และไม่สามารถควบคุมได้

2.4.3 หลักในการออกแบบการทดลอง

2.4.3.1 การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่า ๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ 1) แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization) 2) แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization) 3) แบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2.4.3.2 การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

2.4.3.3 การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไปอะไรบ้างในการผลิตซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือก

2.4.4 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

2.4.4.1 การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็น การใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้าย คือการระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels) แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม(Mixed Levels) ซึ่งสามารถกล่าวโดยสังเขปได้ ดังต่อไปนี้

2.4.4.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

2.4.4.3 การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลองความเหมาะสมของข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก(Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย ในขณะทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ทำออกแบบไว้นั่นคือ จะต้องมีการสุ่มและการทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ออกมาน้อยที่สุดการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลวิธีทางสถิติไม่อาจบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการ วิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล และข้อเสนอแนะเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

2.4.5 แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design)

ซึ่งใช้กับการทดลองปัจจัยเดี่ยว (Single Factor Experiment) เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและพบว่าไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลอง ซึ่งจะทำการทดลองโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication) ขั้นตอนในการทำการทดลองคือ

2.4.5.1 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ (Controllable Factor) ที่สนใจ

2.4.5.2 ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Random)

2.4.5.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

2.4.6 แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Block Design)

ใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มคือ ต้องทำการสุ่มทุกครั้ง ทำซ้ำทุกการทดลองและต้องทำการบล็อก (Blocking) สามารถลดปัจจัยรบกวนการบล็อก (Blocking) โดยอาจจะทำมากกว่า 1 บล็อกก็ได้ ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน ขั้นตอนในการทำการทดลอง

2.4.6.1 ออกแบบและวางแผนการทดลอง

2.4.6.2 เก็บข้อมูล

2.4.6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (Block Effect) ด้วย

2.4.7 แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

จะใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งก็คือเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากปัจจัย (Factor) มีมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้น นอกจากการเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วยอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย

2.4.8 แนวทางการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ส่วนนี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปใช้ในการคำนวณซึ่งทำให้ได้ค่าของ P Values (Probability Values) ที่สัมพันธ์โดยตรงกับ α อันจะหมายถึงโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดถ้าทำการปฏิเสธสมมุติ ฐานหลัก ซึ่งเมื่อให้ค่า α=0.05 จะหมายถึงว่าเรายอมรับความผิดพลาดแบบที่ 1 เท่ากับ 0.05 หรือมีโอกาสผิดพลาดได้หนึ่งใน 20 ของการตัดสินใจทั้งหมด ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อพิสูจน์สมมุติฐานนั้น ถ้าพบว่าค่า P Values มีค่ามากกว่า 0.05 หมายถึงโอกาสที่การปฏิเสธสมมุติฐานหลักแล้วกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 ได้มากกว่า 0.05 ซึ่งก็ไม่สามารถที่จะปฏิเสธสมมุติฐานหลักและต้องยอมรับสมมุติฐานหลักนั้น แต่หากค่า P Values มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะทำการปฏิเสธสมมุติฐานหลักแล้วทำการยอมรับสมมุติฐานอื่น ๆ แทน

2.4.9 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องจะต้องมีความเข้าใจล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินงานอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

2.4.9.1 การทำความเข้าใจถึงปัญหา ในการกำหนดหัวข้อของปัญหา ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพของปัญหา และวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผนและดำเนินการทดลองต่อไป

2.4.9.2 การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ขั้นตอนนี้เป็นการใช้ความรู้เฉพาะด้าน เกี่ยวกับกระบวนการ ซึ่งอาจมาจากประสบการณ์ หรือความรู้ทางทฤษฎี เพื่อนำมาตัดสินใจเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ต้องทำการปรับในการทดลอง รวมถึงต้องทราบวิธีการควบคุมและการวัดค่าระดับของปัจจัยดังกล่าวนี้ด้วย

2.4.9.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่า ตัวแปรตอบสนองนี้ให้สารสนเทศที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่าระบบการวัดที่ใช้วัดตัวแปรตอบสนองต้องมีคุณภาพเพื่อให้ความผันแปรที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว

2.4.9.4 การเลือกรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม จำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

2.4.9.5 การดำเนินการทดลอง จะเป็นการทำ ตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

2.4.9.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะมีการนำวิธีการทางสถิติมาใช้เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรม หรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผล

2.4.9.7 การสรุปผลและข้อเสนอแนะ หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้วในขั้นตอนนี้ควรนำวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการสรุปผลและการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้แล้วควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล เพื่อเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้น

2.4.10 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัยถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 ซ้ำ (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกันผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยนั้นๆ เรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) เนื่องจากมันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง ในการทดลองบางอย่าง เราอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลตอบสนองที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่ง จะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึงว่า ผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า อิทธิพลร่วม (Interaction) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีประโยชน์มากมายและเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองแบบ

ทีละปัจจัย ยิ่งกว่านั้นแล้วการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลยังเป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อมีอิทธิพลร่วมเกิดขึ้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ทำให้เราสามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้นอกจากนั้นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลทำให้เราสามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่าง ๆของปัจจัยอื่นได้ ทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผล ตลอดจนเงื่อนไขการทดลองได้โดยรูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่แบบ 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย แบบ 3^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2.4.11 การใช้ P-value ในการทดสอบสมมติฐาน

วิธีรายงานผลของการทดสอบสมมุติฐานวิธีหนึ่งคือ การแสดงว่าสมมุติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ ที่ค่าα หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด ตัวอย่างเช่น เมื่อสรุปผลการทดลองเราสามารถบอกได้ว่า H_0 : $\mu 1 = \mu 2$ ถูกปฏิเสธที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คำกล่าวสรุปมักจะไม่เพียงพอเพราะไม่ได้บอกให้ผู้ตัดสินใจรู้ว่า ค่าทดสอบทางสถิติที่คำนวณได้ตกอยู่ที่ใดบนพื้นที่วิกฤต ยิ่งกว่านั้น การหาผลลัพธ์โดยวิธีนี้อาจจะไม่เป็นที่พึงพอใจเนื่องจากผู้ทำการทดลองบางคนอาจไม่ต้องการใช้ระดับความเสี่ยงที่ $\alpha = 0.05$วิธีการของ P-value ได้ถูกนำมาใช้อย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากดังกล่าว P-value คือความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีมากเท่ากับค่าสังเกตในทางสถิติ เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง ดังนั้น P-value นี้จะแสดงถึงน้ำหนักของหลักฐานที่จะใช้ในการปฏิเสธ H_0 และผู้ตัดสินใจสามารถสร้างข้อสรุปที่ระดับนัยสำคัญอื่น ๆ ได้นอกจากนี้ เรายังสามารถนิยาม P-value ว่าเป็นเหมือนกับค่าที่น้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ก็ได้ปกติแล้ว เรานิยมที่จะบอกว่าค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อ สมมติฐานหลัก H_0ถูกปฏิเสธ ดังนั้นเราอาจจะพิจารณาค่า P-value ว่าเป็นค่า α ที่น้อยที่สุด ซึ่งทำให้ข้อมูลมีนัยสำคัญโดยถ้าค่า P-value มีค่าน้อยกว่าค่า α ก็จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Reject H_0) แสดงว่าข้อมูลนั้นมีนัยสำคัญ หรือถ้าค่า P-value มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าα ก็จะยอมรับสมมติฐานหลัก(Fail to reject H_0) แสดงว่า ข้อมูลนั้นไม่มีนัยสำคัญ

2.5 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งต้องการที่จะศึกษาถึงผลรวมที่มีต่อผลตอบซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น

2.5.1 การออกแบบ 2^k

การออกแบบ 2^k ชนิดแรกที่จะกล่าวถึง คือ การออกแบบที่ประกอบด้วย 2 ปัจจัย (A และB) แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่ “ต่ำ” และ “สูง” โดยแสดงผลของปัจจัยด้วย

ตัวอักษรลาตินตัวใหญ่ ดังนั้น A จะแทนผลของปัจจัย A, B แทนผลของปัจจัย B และ AB แทนอันตรกิริยาของปัจจัย AB ในการออกแบบ 2^k ระดับ ต่ำ และสูง จะแทนด้วยเครื่องหมาย + และ – บนแกน A และ B ตามลำดับ

การทดลงสำหรับระดับสูงของปัจจัยใดๆ จะแทนด้วยตัวอักษรตัวเล็กของปัจจัยนั้น ในการทดลองร่วมปัจจัยที่เกิดขึ้น สำหรับระดับต่ำจะไม่ปรากฏตัวอักษรใดๆ ในการทดลองร่วมปัจจัย ดังนั้นสำหรับการออกแบบ 2^k ในที่นี้ a จะแทนการทดลองร่วมปัจจัยของปัจจัย A ที่ระดับสูง และ B ที่ระดับต่ำ, b แทน A ที่ระดับต่ำและ B ที่ระดับสูง, ab แทนทั้งปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับสูง และ (1) แทนทั้งปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ

สำหรับการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับกำหนดว่าผลเฉลี่ยของปัจจัยหนึ่ง คือ ความเปลี่ยนแปลงของผลตอบที่เกิดจาการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ที่ถูกนำมาเฉลี่ยกับระดับของปัจจัยอื่น สัญลักษณ์ (1), a, b และ ab แทนผลรวมของ n เรพลิเคตของการทดลองร่วมปัจจัยนั้นๆ ผลของ A ที่ระดับต่ำของ B คือ $[a-(1)]/n$ และผลของ A ที่ระดับสูงของ B คือ $[ab - b]/n$ นำค่าทั้งคู่นี้มาเฉลี่ยจะได้ผลหลักของปัจจัย A คือ

$$A = \frac{1}{2n}\{[ab-b]-[a-(1)]\} \tag{1}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab+a-b-(1)] \tag{2}$$

ค่าเฉลี่ยของผลหลักของปัจจัย B หาได้จากผลของ B ที่ A ระดับต่ำคือ $[b-(1)]/n$ และที่ A ระดับสูง คือ $[ab-a]/n$ ซึ่งเขียนได้เป็น

$$B = \frac{1}{2n}\{[ab-a]+[b-(1)]\} \tag{3}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab+b-a-(1)] \tag{4}$$

ผลของอันตรกิริยาของ AB คือ ค่าเฉลี่ยของผลต่างระหว่างผล A ที่ B ระดับสูง กับ ผลของ A ที่ B ระดับต่ำ ซึ่งก็คือ

$$AB = \frac{1}{2n}\{[ab-b]-[a-(1)]\} \tag{5}$$

$$= \frac{1}{2n}[ab+(1)-a-b] \tag{6}$$

สมการของผลของ A. B และ AB อาจหาได้โดยวิธีอื่นอีก เช่น ผลของ A สามารถหาได้จากความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองบนด้านขวามือของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เรียกว่า $\bar{y}_{A+}$ เนื่องค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัยที่ A มีค่าสูง กับการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองที่อยู่ทางด้านซ้ายมือ เรียกว่า $\bar{y}_{A-}$ คือ

$$A = \bar{y}_{A^+} - \bar{y}_{A^-} \tag{7}$$

$$= \frac{ab + a}{2n} - \frac{b + (1)}{2n} \tag{8}$$

$$= \frac{1}{2n}\left[ab + a - b - (1)\right] \tag{9}$$

ผลของ B หาได้จากผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของผลตอบของการทดลองร่วมปัจจัย ทั้งสองบนด้านบนของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (เรียกว่า $\bar{y}_{B^+}$) กับค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสองที่อยู่ด้านล่าง (เรียกว่า $\bar{y}_{B^-}$)นั้นคือ

$$B = \bar{y}_{B^+} - \bar{y}_{B^-} \tag{10}$$

$$= \frac{ab + b}{2n} - \frac{a + (1)}{2n} \tag{11}$$

$$= \frac{1}{2n}\left[ab + b - a - (1)\right] \tag{12}$$

สุดท้าย ผลของอันตรกิริยาของ AB หาได้จากค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัย จากขวาไปซ้าย ตามแนวเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ab และ (1)) ลบด้วยค่าเฉลี่ยของการทดลองร่วมปัจจัยจากซ้ายไปขวาตามแนวเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (a และ b) หรือ

$$AB = \frac{ab + (1)}{2n} - \frac{a + b}{2n} \tag{13}$$

$$= \frac{1}{2n}\left[ab + (1) - a - b\right] \tag{14}$$

ในการทดลองที่เกี่ยวกับการออกแบบ 2^k ต้องสอบทั้งขนาดและทิศทางของปัจจัยที่มีผลเพื่อที่จะหาว่า ตัวแปรตัวใดที่น่าจะเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดผลขึ้น และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมาเป็นตัวยืนยันข้อสรุปนั้น

พิจารณาผลรวมของกำลังสองของ A, B และ AB กำหนดให้ว่าคอนแทรสต์ที่จะใช้ในการประมาณผลของ A คือ

$$Contrast_A = ab + a - b - (1) \quad (15)$$

เรียกคอนแทรสต์นี้ว่า ผลทั้งหมด (Total Effect) ของ A คอนแทรสต์นี้ยังสมารถใช้ในการประมาณผลของ B และAB ซึ่ง คอนแทรสต์เหล่านี้มีรูปแบบในเชิงตั้งฉาก (Orthogonal) และผลรวมของกำลังสองของ คอนแทรสต์ใด ๆ จะหาได้จากคอนแทรสต์ยกกำลังสอง หารด้วยผลคูณของจำนวนของข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ที่ในคอนแทรสต์นั้น กับผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธิ์ของคอนแทรสต์ ดังนั้นผลรวมของกำลังสองของ A, B, และ AB สามารถเขียนได้ดังนี้

$$SS_A = \frac{[ab + a - b - (1)]^2}{4n} \quad (16)$$

$$SS_B = \frac{[ab + b - a - (1)]^2}{4n} \quad (17)$$

$$SS_{AB} = \frac{[ab + (1) - a - b]^2}{4n} \quad (18)$$

และผลรวมทั้งหมดของกำลังสองสามารถหาได้จาก

$$SS_T = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{2}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y^2\ldots}{4n} \quad (19)$$

SS_T มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $4n$ - 1 และค่าผิดพลาดของผลรวมของกำลังสองซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $4(n-1)$ คำนวณได้จาก

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (20)$$

2.5.2 แบบจำลองการถดถอย

ในการออกแบบ 2^k แบบจำลองการถดถอย (Regression Model)คือ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \varepsilon \quad (21)$$

โดยที่ x_1 และ x_2 เป็นตัวแปรที่ถูกเข้ารหัสและแทนสัมประสิทธิ์ของการถดถอย

2.5.3 รูปทั่วไปของการออกแบบ 2^k

วิธีการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวถึงมาก่อนหน้านี้ ทำให้อยู่ในรูปทั่วไปของการออกแบบ 2^k ได้ คือ การออกแบบที่มี k ปัจจัยแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติ

สำหรับการออกแบบ 2^k จะประกอบด้วยผลหลัก k ชนิด, $\binom{k}{2}$ อันตรกิริยาของ 2 ปัจจัย, $\binom{k}{3}$ อันตรกิริยาของ 3 ปัจจัย และ 1 อันตรกิริยาของ k ปัจจัย แบบจำลองบริบูรณ์สำหรับการออกแบบ 2^k ประกอบด้วย 2^k-1 ชนิด วิธีการทั่วไปในการวิเคราะห์เชิงสถิติของการออกแบบ 2^k เริ่มจากประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ และตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ทดลองทราบโดยเบื้องต้นว่า ปัจจัยและอันตรกิริยาตัวใดที่มีความสำคัญ และปัจจัยเหล่านี้ควรจะถูกปรับให้อยู่ในทิศทางใดเพื่อที่จะปรับปรุงผลตอบในการสร้างแบบจำลองเริ่มต้น และจะเลือกแบบจำลองเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยผลหลักและอันตรกิริยาทั้งหมด ในขั้นตอนที่สามใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยา ขั้นตอนที่สี่เป็นการเกี่ยวกับการดึงเอาตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ ขั้นตอนที่ห้าเป็นการวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่ตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนสุดท้ายทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟ โดยจะสร้างกราฟของผลหลักและอันตรกิริยาขึ้น

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k

Sours of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom
K main effects		
A	SS_A	1
B	SS_B	1
⋮	⋮	⋮
K	SS_K	1
$\binom{k}{2}$ two-factor interactions		
AB	SS_{AB}	1
AC	SS_{AC}	1
⋮	⋮	⋮
JK	SS_{JK}	1

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ 2^k (ต่อ)

Sours of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom
$\binom{k}{3}$ three-factor interactions		
ABC	SS_{ABC}	1
ABD	SS_{ABD}	1
⋮	⋮	⋮
IJK	SS_{IJK}	1
⋮	⋮	⋮
$\binom{k}{k}$ 1 k - factor interaction		
ABC…K	$SS_{ABC...K}$	1
Error	SS_E	$2^k(n-1)$
Total	SS_I	$n2^k-1$

เพื่อประมาณค่าของผลหรือค่าผลรวมของกำลังสองของผล ต้องคำนวณหาค่าคอนแทรสต์ ที่เกี่ยวข้องกับผลตัวนั้นก่อน ซึ่งทำได้โดยการใช้ตารางของเครื่องหมายบวกและลบ หรือใช้วิธีการขยายทางด้านขวามือของสมการคอนแทรสต์

$$Contrast_{AB...K} = (a \pm 1)(b \pm 1)...(k \pm 1) \tag{22}$$

ในการขยายสมการใช้พีชคณิตเบื้องต้นเข้ามาช่วย และแทนค่า 1 ในสูตรที่คำนวณได้ครั้งสุดท้ายด้วย (1) สัญลักษณ์ในวงเล็บแต่ละชุดจะเป็นค่าลบ ถ้าปัจจัยนั้นได้ถูกรวมไว้ในคอนแทรสต์และเป็นค่าบวก ถ้าปัจจัยนั้นไม่ได้ถูกรวมเอาไว้ สำหรับผลต่างสามารถที่จะประมาณค่าผลต่างๆ และคำนวณหาค่าของผลรวมของกำลังสองได้โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$AB...K = \frac{2}{n2^k}\left(Contrast_{AB...K}\right) \tag{23}$$

$$SS_{AB...K} = \frac{2}{n2^k}\left(Contrast_{AB...K}\right)^2 \tag{24}$$

ตามลำดับ โดยที่ n แทนจำนวนของเรพลิเคต

ตารางที่ 3 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ 2^2

Treatment Combination	Factorial Effect			
	I	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
A	+	+	-	-
B	+	-	+	-
ab	+	+	+	+

2.6 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ กำหนดให้สัญลักษณ์ของปัจจัยและอันตรกิริยาแทนด้วยตัวอักษรตัวใหญ่ และระดับทั้งสามของแต่ปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้เป็นตัวเลข 0 (ต่ำ), 1 (ปานกลาง) และ 2 (สูง)

การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัว โดยที่ตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A, ตัวเลขตัวที่สองแทนระดับของปัจจัย B,..., และตัวเลขตัวที่ k แทนระดับของปัจจัย k ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบ 3^2 ตัวเลข 00 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยซึ่งทั้ง A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ, 01 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยที่ A อยู่ที่ระดับต่ำ และ B อยู่ที่ระดับปานกลาง

ในการออกแบบ 3^k เมื่อปัจจัยมีลักษณะเป็นเชิงปริมาณ เราจะแทนระดับต่ำ, ปานกลาง และสูง ด้วย -1, 0 และ 1 ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 3^2 ให้ x_1 แทนปัจจัย A และ x_2 แทนปัจจัย B แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x_1 และ x_2 สามารถแสดงได้โดย

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \varepsilon \qquad (25)$$

เนื่องจาก มีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ทำให้เราสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติก (Quadratic)

2.6.1 รูปทั่วไปของการออกแบบ 3^k

แนวความคิดของการออกแบบ 3^2 และ 3^3 สามารถขยายไปสู่กรณีของปัจจัย k ตัวแต่ละตัวประกอบด้วย 3 ระดับ นั่นคือ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3k สัญลักษณ์แบบ

ดิจิทัลถูกนำมาใช้แทนการทดลองรวมปัจจัยที่เกิดขึ้น เช่น 0120 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^4 ที่มี A และ D อยู่ที่ระดับต่ำ B อยู่ที่ระดับกลาง และ C อยู่ที่ระดับ C อยู่ที่ระดับสูง

การออกแบบ 3^k นี้ ประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 3^k การทดลอง และมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3^k -1 จากการทดลองร่วมปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดผลรวมของกำลังสองของผลหลัก k ตัว ที่แต่ละตัวมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2; อันตรกิริยาแบบสองปัจจัยจำนวน C_2^k ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4;.....และอันตรกิริยาแบบ k ปัจจัย ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2^k ถ้ามีการทดลองทั้งสิ้น n เรพลิเคต จะทำให้เกิดระดับขั้นความเสรีทั้งหมดเท่ากับ $n3^k$-1 และค่าผิดพลาดของระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $3^k(n$-1)

ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับผลหลักและอันตรกิริยาสามารถคำนวณได้โดยใช้วิธีการตามปกติของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ธรรมดาแล้วอันตรกิริยาแบบสามปัจจัยและสูงกว่าจะไม่ถูกแยกอีกต่อไป อย่างไรก็ตาม อันตรกิริยาแบบ h ปัจจัย จะมีส่วนประกอบแบบเชิงตั้งฉาก จำนวน 2^{h-1} ซึ่งแต่ละตัวจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาสี่ปัจจัย ABCD จะมีส่วนประกอบแบบเชิงตั้งฉาก จำนวน $2^{4-1} = 8$ ตัว ซึ่งเขียนได้คือ $ABCD^2$, ABC^2D, AB^2CD, ABCD, ABC^2D^2, AB^2C^2D, AB^2CD^2 และ $AB^2C^2D^2$ ในการเขียนส่วนประกอบเหล่านี้สังเกตว่าตัวเลขยกกำลังของตัวอักษรแรกจะมีค่าเท่ากับ 1 เสมอ ถ้าตัวเลขยกกำลังนี้ไม่เท่ากับ 1 แล้วให้นำพจน์นี้มายกกำลังสองและตัวเลขยกกลังโดยใช้มอดูลัส 3 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$A^2BCD=(A^2BCD)^2=A4B^2C^2D^2=AB^2C^2D^2 \quad (26)$$

อันตรกิริยาของส่วนประกอบเหล่านี้ไม่มีความหมายในทางกายภาพแต่ประการใด และจะมีประโยชน์ในการสร้างการออกแบบที่ซับซ้อน ขนาดของการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของ k

2.7 วิธีการพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) เป็นการรวบรวมเอาทั้งเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์ และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ ตัว และต้องการที่จะหาระดับของตัวแปรที่ 1 (x_1) และตัวแปรตัวที่ 2 (x_2) ที่จะส่งผลให้ผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y อธิบายได้ตามสมการคือ

$$y = \int(x_1, x_2) + \varepsilon \quad (27)$$

โดยที่ ε คือค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดให้ $E(y) = f(x_1, x_2) = \eta$ ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิวได้ดังนี้

$$\eta = f(x_1, x_2) \tag{28}$$

ซึ่งเรียกว่า พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) โดยมากแล้ว จะทำการแสดงพื้นผิวผลตอบสนองในรูปแบบของกราฟ โดยที่ η จะถูกพล็อต (Plot) กับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้เรามองรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองได้ยิ่งดีขึ้น ส่วนใหญ่แล้วจะทำการพล็อต (Plot) เป็นเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวผลตอบสนอง ในการสร้างเส้นโครงร่างนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบสนองคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ x_1 และ x_2 ซึ่งเส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวผลตอบสนองที่เท่ากันอยู่ค่าหนึ่ง

ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบสนองส่วนมากจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้น ขั้นตอนแรกก็คือ จะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซ็ตของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบที่มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์นี้ คือ แบบจำลองกำลังหนึ่ง

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_k x_k + \varepsilon \tag{29}$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \tag{30}$$

วิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าผิวที่สร้างสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบได้เป็นอย่างดีเพียงพอ ดังนั้นการวิเคราะห์พื้นผิวที่สร้างขึ้นมานี้ จะสามารถประมาณค่าได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองสามารถที่จะถูกประมาณค่าได้เป็นอย่างดี ถ้าเราทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบชนิดนี้เรียกว่า การออกแบบโดยใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งที่เราอยู่ที่จุดบนพื้นผิวผลตอบที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่น ที่เงื่อนไขการทำงานปัจจุบัน ซึ่งจะพบว่าผลตอบของระบบนี้ไม่ค่อยเป็นส่วนโค้ง และแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลองแล้ว วัตถุประสงค์คือ การนำการทดลองไปตามแนวทางที่มีการปรับปรุง มากที่สุด และอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อที่จะไปใกล้จุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อค้นพบอาณาเขตของ

ค่าที่ดีที่สุดแล้ว จะนำเอาแบบจำลองที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น แบบจำลองกำลังสอง เป็นต้น เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์และการทดลองเช่นนี้จะทำเพื่อที่จะให้สามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้ ซึ่งการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบเปรียบเสมือนการปีนภูเขา ซึ่งยอดของมันจะเป็นจุดที่มีผลตอบสูงสุด หรือค่าที่ดีที่สุดคือค่าต่ำที่สุด ในที่นี้อาจจะคิดเสมือนว่า กำลังเคลื่อนที่ลง สู่หุบเขา จุดประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบก็คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดการทำงานที่น่าพอใจที่สุด

เมื่อผู้ทำการทดลองอยู่ใกล้เคียงกับจุดที่ดีที่สุดแล้ว แบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งจะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าของผลตอบสนอง ส่วนใหญ่แบบจำลองกำลังสองจะมีรูปแบบ ดังนี้

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \qquad (31)$$

จากตัวแบบข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสร้างแบบจำลองกำลังสอง เพื่อที่จะนำไปสู่การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดต่อไป ในการวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบนี้ ต้องมีระดับที่ 3 ปัจจัย ซึ่งนอกจากอาศัยออกแบบ 3^k Factorial Design แล้วยังมีการออกแบบเพื่อการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองอีกหลายชนิด เช่น การออกแบบส่วนประสมกลาง หรือ CCD การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design การออกแบบที่เรียกว่า Face-Centered Central Composite หรือ Face-Central Cube ซึ่งการออกแบบการทดลองเหล่านี้จะทำให้สามารถลดเวลา ค่าใช้จ่าย หรือลดการทดลองที่ไม่สามารถดำเนินการได้เนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ แต่ยังคงสามารถวิเคราะห์ผลและสรุปได้ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบทางสถิติ

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โสภิดา ท้วมมี (2550) ได้ทำการวิจัยเพื่อลดปริมาณของเสียที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อการเกิดเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ และเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่อุณหภูมิในการหลอม PVC Compoundที่ Mixing Rolls 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพีวีซีแผ่นที่นำกลับมาหลอมใหม่ที่ Mixing Rolls 30 กิโลกรัม/Batch จะทำให้ค่าจำนวนจุดบกพร่องประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ 1 ตารางเมตร อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ ไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตรซึ่งทำให้สามารถลด

จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบประเภทเม็ดพีวีซีไม่หลอมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวผลิตภัณฑ์ลงได้ 73.08 เปอร์เซ็นต์ [12]

บุญชัย ปัญญาวิเศษพงศ์ (2551) ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพแนวเชื่อมของกระบวนการผลิตกระป๋อง โดยใช้ Factorial Design ออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมได้แก่ แรงกดที่ล้อเชื่อม และกระแสไฟเชื่อม ในการทดลองโดยในการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 5 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 ครั้งพบว่า แรงกดที่ล้อเชื่อม และกระแสไฟเชื่อม เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $\alpha = 0.05$ โดยได้คำตอบของสภาวะเหมาะสมที่ทำให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมผ่านการทดสอบด้วยวิธี Ball Test และ Tear Test คือ ต้องปรับแรงกดที่ล้อเชื่อมที่50 กิโลกรัม แลกระแสไฟเชื่อมที่ 4.3 กิโลแอมป์ เมื่อนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปใช้พบว่าสัดส่วนจำนวนกระป๋องที่กักไว้รอคัดแยกและอัตราของเสียจากการคัดแยกปัญหาคุณภาพที่แนวเชื่อมลดลงทั้งคู่ [6]

วิศณุ บุญจันทร์ (2548) ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยถลอกในผลิตภัณฑ์รถกระบะและหาแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดข้อบกพร่อง โดยอาศัยแนวทางการแก้ปัญหาคุณภาพแบบซิกซ์ ซิกม่ามาเป็นทางในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิต โดยการลดความผันแปรที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการผลิต โดยเลือกสายการประกอบรถกระบะในแผนกประกอบชิ้นส่วน โดยปัญหาเรื้อรังที่พบในกระบวนการ คือ การเกิดปัญหารอยถลอกขึ้นบนตัวรถกระบะ ซึ่งก่อให้เกิดต้นทุนทางด้านแรงงานที่ขึ้นเพิ่มให้แก่ผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาพบว่าปัญหารอยถลอกได้สูงถึง 0.25จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการทำวิจัยในครั้งนี้จึงมีเป้าหมายที่จะลดปัญหารอยถลอกลงร้อยละ 60 คือ จากระดับ 0.25 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือที่ระดับ 0.12 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยการดำเนินการแก้ปัญหาเริ่มจากการศึกษากระบวนการทำงาน วิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อหาปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปัญหา และปรับปรุงจนอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่คาดว่ามีผลกระทบต่อปัญหาด้วยวิธีการ2-Sample t พบว่าสาเหตุหลักมาจากการขาดอุปกรณ์ป้องกันในการทำงาน, ผงโลหะที่สะสมตัวในProtector และความยาวของ Power Bit ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงกระบวนการ โดยหลักการ ECRSแก้ไขจุดบกพร่องของวิธีการทำงานเดิม ทำให้ได้ค่าจุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ลดลงเหลือที่ระดับ0.12 จุดบกพร่องต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ทำให้ต้นทุนการผลิตลงได้ประมาณปีละ 3,259,370 บาท [10]

พงศ์ สกุลคนลานุวัฒน์ (2550) ศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสรุ่น G เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Overall yield โดยทำการลดปริมาณของเสียเนื่องจากค่ามุมของชิ้นงานไม่ได้

ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการก่อนหน้ากระบวนการดัดค่ามุมของชิ้นงาน โดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ามุมของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการดัดค่ามุมของชิ้นงานและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะ ทำให้ค่ามุมของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการดัดค่ามุมของชิ้นงานได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือเปอร์เซ็นต์ Overall yield ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีเปอร์เซ็นต์ Overall yield เท่ากับร้อยละ68.74 ซึ่งการวิจัยดำเนินตามขั้นตอนตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่าทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการขั้นตอนนิยามปัญหา ,ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ,ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยเมื่อผ่านขั้นตอนนี้แล้ว พบว่ามีอยู่เพียง 4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ามุมของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการดัดค่ามุมของชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ค่ามุมของ Tongue, ค่ามุม Sag, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม และระยะ X ของจุดเชื่อม จากนั้นจึงนำปัจจัยทั้งสี่นี้มาทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งผลลัพธ์ของค่าที่เหมาะสมในการใช้งานที่ได้เป็นดังนี้ ค่ามุมของ Tongue อยู่ที่ค่า 3.7 องศา ,ค่ามุม Sag อยู่ที่ค่า 2.0 องศา ,ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อมอยู่ที่ค่า 0.180 มิลลิเมตร และระยะ X ของจุดเชื่อมอยู่ที่ค่า 0.388 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำไปทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต และทำการกำหนดระบบควบคุมแก่ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสี่ในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ [7]

สุมล มุสิกาญจน์ (2547) ได้ทำการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสงเพื่อปรับปรุงผลได้ของกระบวนการ Wire Bonding ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยผลที่ได้จากขั้นตอนการกำหนดปัญหาพบว่าต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่าเป้าหมายซึ่งมีสาเหตุมาจากผลได้ของกระบวนการ Wire Bonding ต่ำอันเนื่องมาจากปัญหา Low Pull Strength ดังนั้นเป้าหมายของโครงการนี้ คือ การปรับปรุงค่า Pull Strength ให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อทำให้ได้ผลของกระบวนการ Wire Bonding สูงขึ้นจาก 80.18 % เป็น 84.42 % หรือมากกว่า ในขั้นตอนการวัดพบว่าระบบการวัดของเครื่องทดสอบแรงดึงไม่มีปัญหาทั้งด้านความถูกต้องและความแม่นยำและเมื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาพบว่า แรง, เวลา, Power, อุณหภูมิ, ความเร็ว และ Loopที่ใช้ในการ Bond เป็นปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อค่า Pull Strength มากที่สุด ในขั้นตอนการวิเคราะห์ศึกษาโดยการทดสอบสมมุติฐานในเชิงสถิติ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่า Pull Strength เหลือเพียงสามปัจจัย คือ แรง, Power และอุณหภูมิที่ใช้ในการ Bond ดังนั้นในขั้นตอนการปรับปรุงจึงศึกษาผ่านการออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้ค่าปรับตั้งของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมและทำให้ได้ค่า Pull Strength สูงที่สุด เมื่อนำค่าปรับตั้งใหม่ไปใช้พบว่าค่า Pull Strength มีค่าสูงขึ้นประกอบกับผลทางด้านสถิติแสดงให้เห็นว่าผลได้ของกระบวนการ Wire Bonding สูงขึ้นถึงร้อยละ

91.67 ทำให้ลดต้นทุนการผลิตลงได้ประมาณปีละ 8,273 เหรียญสหรัฐ ในขั้นตอนสุดท้ายการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Pull Strength ทำได้โดยการกำหนดแผนในการควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการปรับตั้ง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยดังกล่าวทำให้ผู้วิจัยได้มีความรู้และแนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับทางเดินของซิกซ์ ซิกม่ากระบวนการผลิตใยแก้วนำแสง และเครื่องมือที่มีความเกี่ยวข้องกับวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่าที่ผู้วิจัยมีความสนใจอยู่ ดังนั้นหากมีการแก้ไขปรับปรุงใดๆ ในขณะทำการทดลองนั้น จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสายการผลิตด้วย [11]

วสันต์ พุกผาสุก (2549) ทำการศึกษากระบวนการชุบโครเมียมมีเป้าหมาย การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้น 70 เปอร์เซ็นต์ การดำเนินงานจะเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นโดยระบุถึงขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไข และกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่า การเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวชิ้นงานเป็นเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด จึงนำปัญหานี้มาทำการแก้ไข ขั้นตอนที่สองจะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยการสร้างแผนที่กระบวนการ ทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละงานในกระบวนการจากนั้นจะทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยสร้างแผนภาพสาเหตุและผลซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นจะศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องในระบบการตรวจสอบ ขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์สาเหตุที่มีผลกระทบกับค่าความหยาบผิวชิ้นงานโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน และนำมาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองและการหาพื้นที่ตอบสนอง ขั้นตอนสุดท้ายจะดำเนินการควบคุมตัวแปรต่างๆ โดยอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ ผลจากการปรับปรุง พบว่า ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดมูลค่าความสูญเสียจาก 774,714 เหลือ 128,648 บาทต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ [9]

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ในโรงงานเครื่องมือแพทย์สำหรับผลิตภัณฑ์ท่อช่วยหายใจ ซึ่งใช้ระเบียบการวิจัยแบ่งออกเป็น ดังนี้

1. ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ท่อช่วยหายใจ

2. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

ประเภทของเสียในกระบวนบรรจุผลิตภัณฑ์ในกลุ่มผลิตภัณฑ์ท่อช่วยหายใจ

3. ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท

3.1 ข้อมูลปฐมภูมิ ทำการรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจสภาพปัจจุบันในการบรรจุผลิตภัณฑ์กระบวนการผลิตท่อช่วบหายใจ

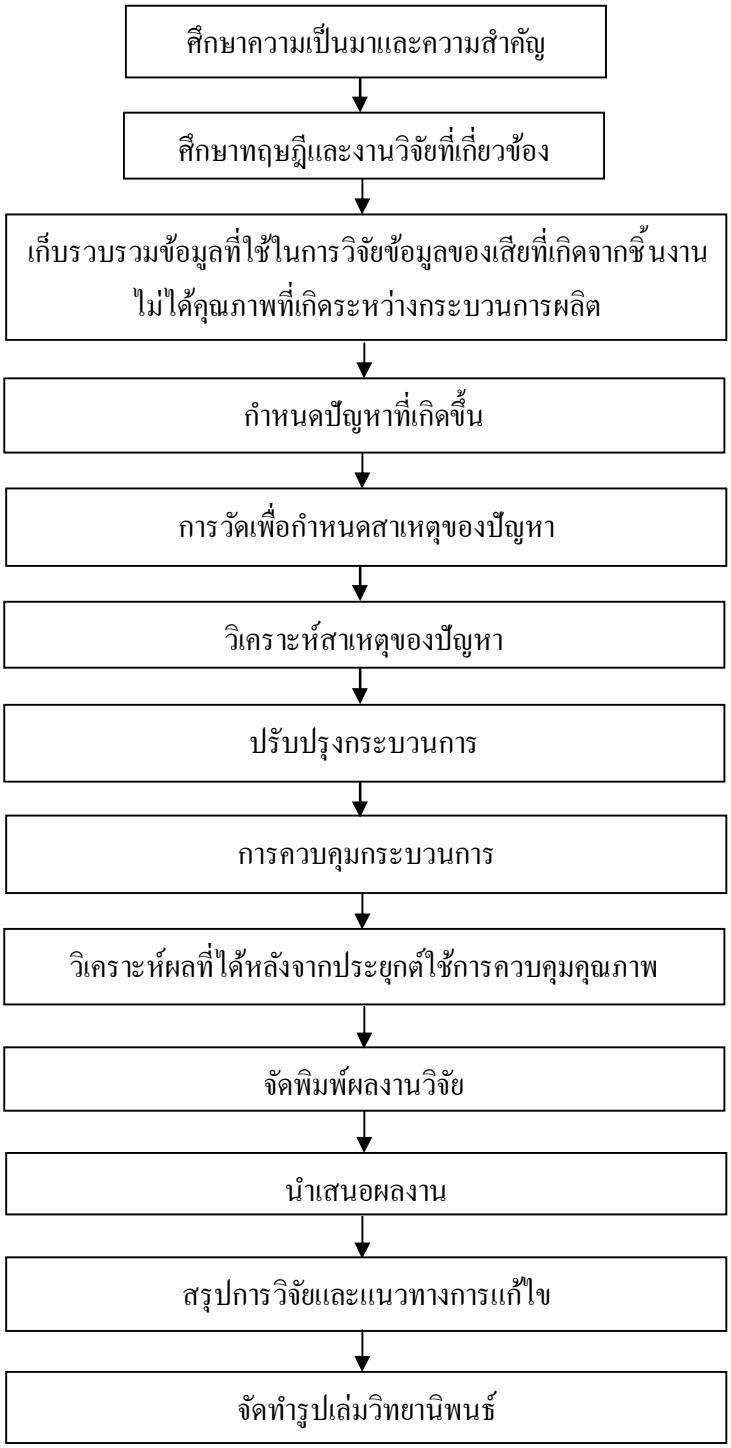
3.2 ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลจากตำราเรื่องการควบคุมทางสถิติ และการควบคุมคุณภาพ ใบรายงานการผลิต ใบรายงานของเสีย และใบตรวจสอบคุณภาพ เป็นต้น

4. การดำเนินงานวิจัย

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุผลิตภัณฑ์ในโรงงานเครื่องมือแพทย์แห่งหนึ่ง โดยหลังจากที่เก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยข้อมูลของเสียที่เกิดจากชิ้นงานไม่ได้คุณภาพที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว จึงดำเนินการตามแม่แบบของขั้น ตอนซิกซ์ ซิกม่า คือ Define (กำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น) Measure (การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา) Analyze(วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา) Improve (การปรับปรุง) และ Control (ควบคุม) จากนั้นจึงทำการสรุปผลหลังจากประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตจริง โดยขั้นตอนทั้งหมดแสดงดังแผนภาพ 4

5. ขั้นตอนการระบุปัญหาที่เกิดขึ้น

5.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา



ภาพที่ 4 แสดงลำดับแผนการดำเนินการวิจัย

โรงงานกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจผลิตอุปกรณ์การแพทย์ประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ 6 กลุ่มหลัก คือ

5.1.1 กลุ่มชุดสายให้น้ำเกลือ

5.1.2 กลุ่มท่อช่วยหายใจ

5.1.3 กลุ่มถุงให้อาหารเหลวที่ใช้ร่วมกับเครื่องให้อาหารเหลว

5.1.4 กลุ่มชุดถุงเก็บปัสสาวะ

5.1.5 กลุ่มสายดูดเสมหะ

5.1.5 กลุ่มสายให้อาหารเหลว

5.1.6 กลุ่มสายต่อท่อสำหรับปัสสาวะ

โดยผู้วิจัยเลือกกลุ่มชุดท่อช่วยหายใจในการศึกษาเนื่องจากผลิตภัณฑ์ใช้กับผู้ที่ไม่สามารถหายใจได้เอง ซึ่งเป็นผู้ป่วยขั้นรุนแรง หรือต้องการการดูแลเป็นพิเศษ จึงเป็นผลิตภัณฑ์ควบคุมกระบวนการอย่างเข้มงวด โดยพบว่ามีจุดตรวจสอบ100 % อยู่ 2 กระบวนการคือขั้นตอนการตรวจรอยรั่ว และขั้นตอนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญต่อคุณภาพต้องการควบคุมคุณภาพเป็นพิเศษ

จากการเก็บประวัติจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบและกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการผลิตตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555 พบว่าที่จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 2,342,700 ชิ้น พบของเสียทั้งหมด 97,652 ชิ้น หรือ 4.168 % ดังในตารางที่ 4

โดยแผนภูมิพาเรโตในภาพที่ 5 พบว่าของเสียจากกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์มากเป็นอันดับหนึ่งโดยของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์แสดงในแผนภูมิที่ โดยจากกราฟพาเรโตในภาพที่ 6 มีของเสียประเภทฟิล์มถูกซีลเป็นรอยยาวเป็นอันดับหนึ่ง 0.881 คือ คิดเป็น 8,807 DPPM (Defect Part per Million)

5.2 เป้าหมายการวิจัย

จากปัญหาของเสียในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ที่เป็นกระบวนการสำคัญในการคงสภาพความปลอดเชื้อ กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ท่อช่วยหายใจ คือ การลดลงของของเสียประเภท ฟิล์มถูกซีลเป็นรอยยาว ในอัตราร้อยละ 50 หรือ ลดลงเหลือ 4,403 DPPM

อัตราข้อบกพร่องต่อหน่วยเฉลี่ย ณ ปัจจุบัน = 8,807 DPPM

อัตราข้อบกพร่องต่อหน่วยตามเป้าหมาย = 4,403 DPPM

ตารางที่ 4 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการบวนการประกอบและการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555

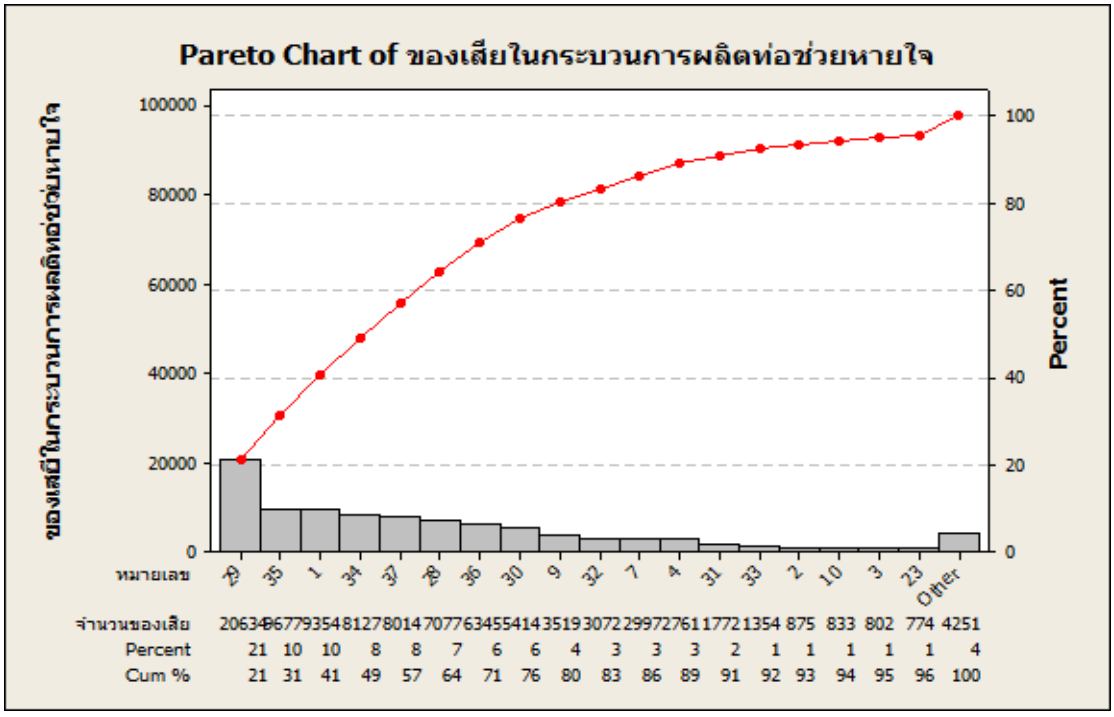
หมายเลข	ประเภทของของเสียที่พบในขั้นตอนประกอบและบรรจุ	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น DPPM
1	ของเสียประเภทที่ 1	9,354	0.40%	3,992.83
2	ของเสียประเภทที่ 2	875	0.04%	373.5
3	ของเสียประเภทที่ 3	802	0.03%	342.34
4	ของเสียประเภทที่ 4	2,761	0.12%	1,178.55
5	ของเสียประเภทที่ 5	77	0.00%	32.87
6	ของเสียประเภทที่ 6	361	0.02%	154.1
7	ของเสียประเภทที่ 7	2,997	0.13%	1,279.29
8	ของเสียประเภทที่ 8	617	0.03%	263.37
9	ของเสียประเภทที่ 9	3,519	0.15%	1,502.11
10	ของเสียประเภทที่ 10	833	0.04%	355.57
11	ของเสียประเภทที่ 11	289	0.01%	123.36
12	ของเสียประเภทที่ 12	46	0.00%	19.64
13	ของเสียประเภทที่ 13	69	0.00%	29.45
14	ของเสียประเภทที่ 14	52	0.00%	22.2
15	ของเสียประเภทที่ 15	2	0.00%	0.85
16	ของเสียประเภทที่ 16	127	0.01%	54.21
17	ของเสียประเภทที่ 17	127	0.01%	54.21
18	ของเสียประเภทที่ 18	33	0.00%	14.09

ตารางที่ 4 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการบวนการประกอบและการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555 (ต่อ)

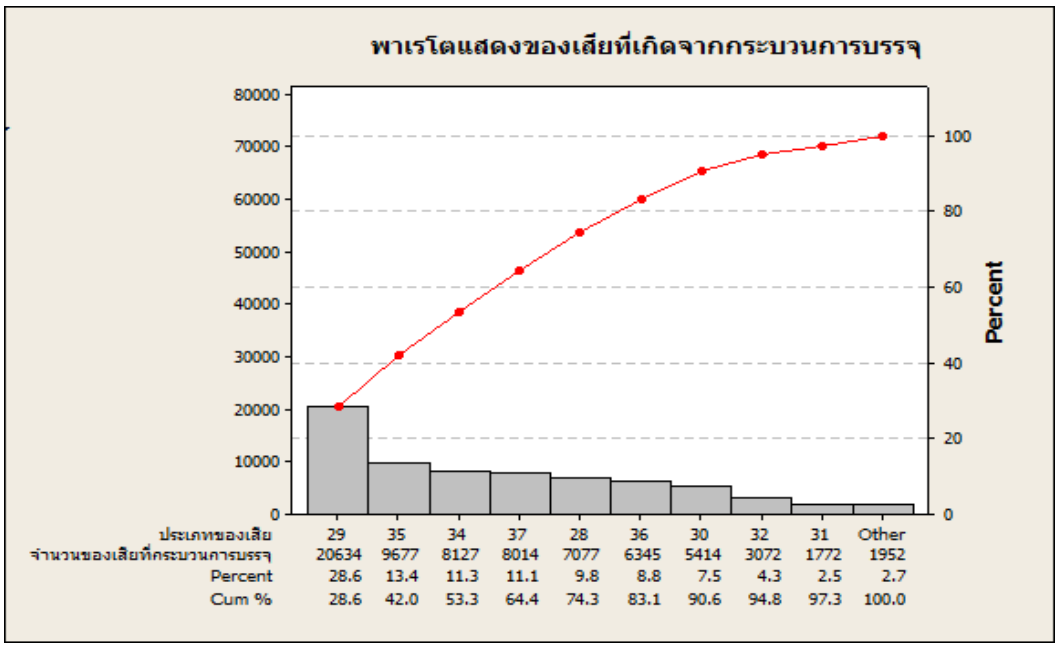
หมายเลข	ประเภทของของเสียที่พบในขั้นตอนประกอบและบรรจุ	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น DPPM
19	ของเสียประเภทที่ 19	356	0.02%	151.96
20	ของเสียประเภทที่ 20	388	0.02%	165.62
21	ของเสียประเภทที่ 21	174	0.01%	74.27
22	ของเสียประเภทที่ 22	32	0.00%	13.66
23	ของเสียประเภทที่ 23	774	0.03%	330.39
24	ของเสียประเภทที่ 24	313	0.01%	133.61
25	ของเสียประเภทที่ 25	99	0.00%	42.26
26	ของเสียประเภทที่ 26	249	0.01%	106.29
27	ของเสียประเภทที่ 27	242	0.01%	103.3
28	ของเสียประเภทที่ 28	7,077	0.30%	3,020.87
29	ฟิล์มถูกซีลเป็นรอยยาว	20,634	0.88%	8,807.79
30	ของเสียประเภทที่ 30	5,414	0.23%	2,311.01
31	ของเสียประเภทที่ 31	1,772	0.08%	756.39
32	ของเสียประเภทที่ 32	3,072	0.13%	1,311.31
33	ของเสียประเภทที่ 33	1,354	0.06%	577.97
34	ของเสียประเภทที่ 34	8,127	0.35%	3,469.07

ตารางที่ 4 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการบวนการประกอบและการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555 (ต่อ)

หมายเลข	ประเภทของของเสียที่พบในขั้นตอนประกอบและบรรจุ	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น DPPM
35	ของเสียประเภทที่ 35	9,677	0.41%	4,130.70
36	ของเสียประเภทที่ 36	6,345	0.27%	2,708.41
37	ของเสียประเภทที่ 37	8,014	0.34%	3,420.84
38	ของเสียประเภทที่ 38	598	0.03%	255.26
รวม		**97,652**	**4.17%**	**41,683.53**



ภาพที่ 5 แสดงแผนภูมิพาเรโตของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในการประกอบและการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555



ภาพที่ 6 แสดงแผนภูมิพาเรโตของปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ของกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555

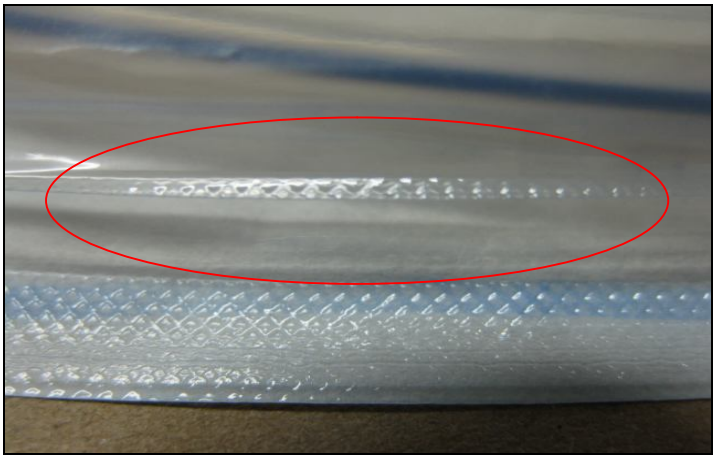
ตารางที่ 5 รายละเอียดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์จากแผนภูมิพาเรโต

หมายเลข	ประเภทของของเสียที่พบในขั้นตอนบรรจุ	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น PPM
28	จำนวนถุงที่ต้องทิ้งจากซ่อมเครื่องและตั้งเครื่องจักร	7,077	0.302%	3,020.87
29	ฟิล์มส่วนเกินถูกซีลเป็นรอย	20,634	0.881%	8,807.79
30	กระดาษฉีกขาด	5,414	0.231%	2,311.01
31	ตัวหนังสือพิมพ์ไม่ติด	1,772	0.076%	756.39
32	ตัวหนังสือพิมพ์เลอะเลือน	3,072	0.131%	1,311.31
33	หมายเลขลอตการผลิตจางหรือลบเลือน	1,354	0.058%	577.97
34	การสั่งพิมพ์หมายเลขลอตซ้อนทับ	8,127	0.347%	3,469.07
35	การปิดผนึกไม่สมบูรณ์	9,677	0.413%	4,130.70

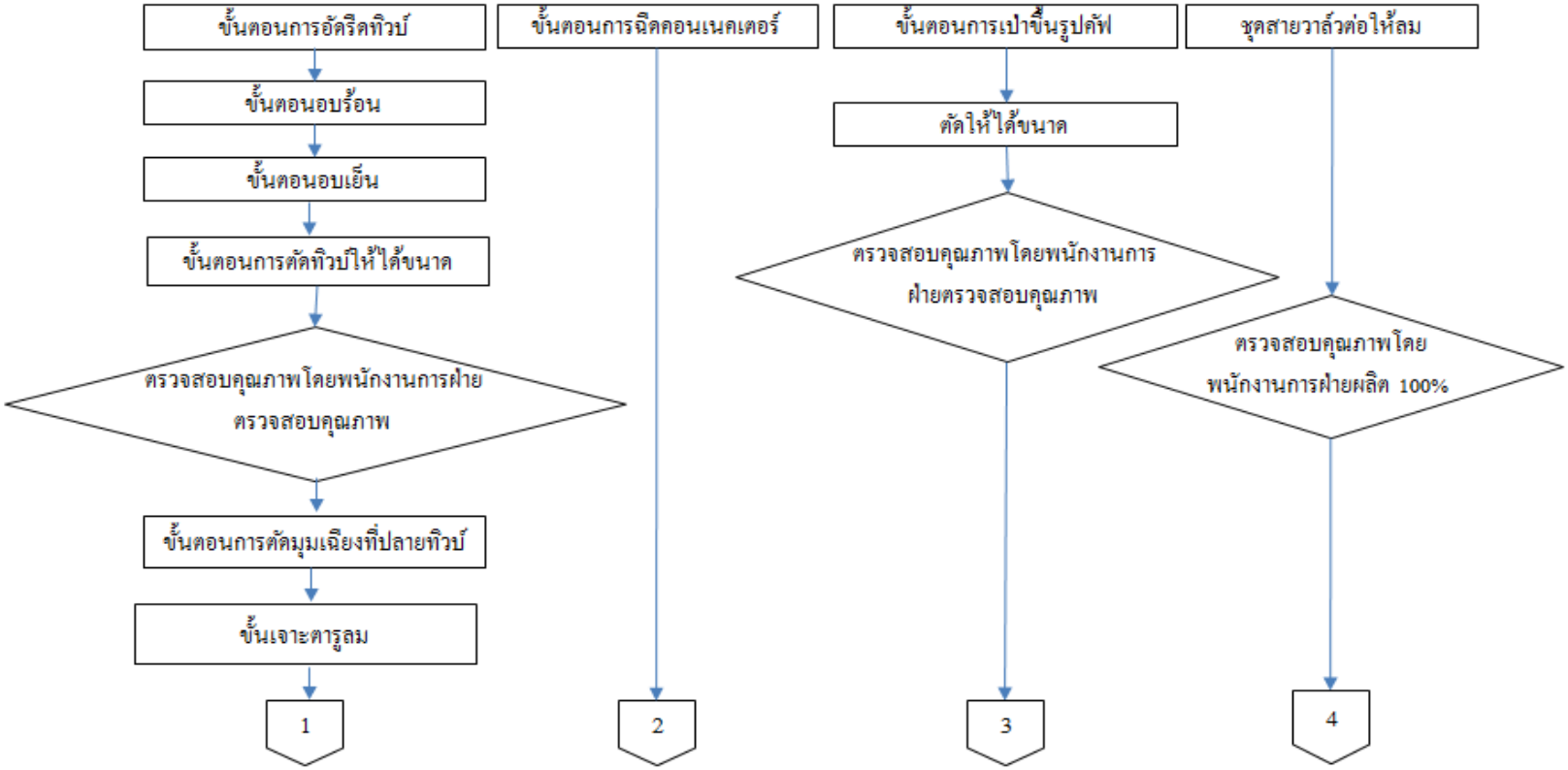
ตารางที่ 5 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ในภาพที่ 6 (ต่อ)

หมายเลข	ประเภทของของเสียที่พบในขั้นตอนบรรจุ	จำนวน	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น PPM
36	ถุงบรรจุตัดไม่ตรง	6,345	0.271%	2,708.41
37	ความลึกของการขึ้นรูปไม่พอ	8,014	0.342%	3,420.84
38	จุดด่างจุดเปื้อนบนแผ่นฟิล์ม	598	0.026%	255.26
รวม	72,084	3.077%	30,769.62	

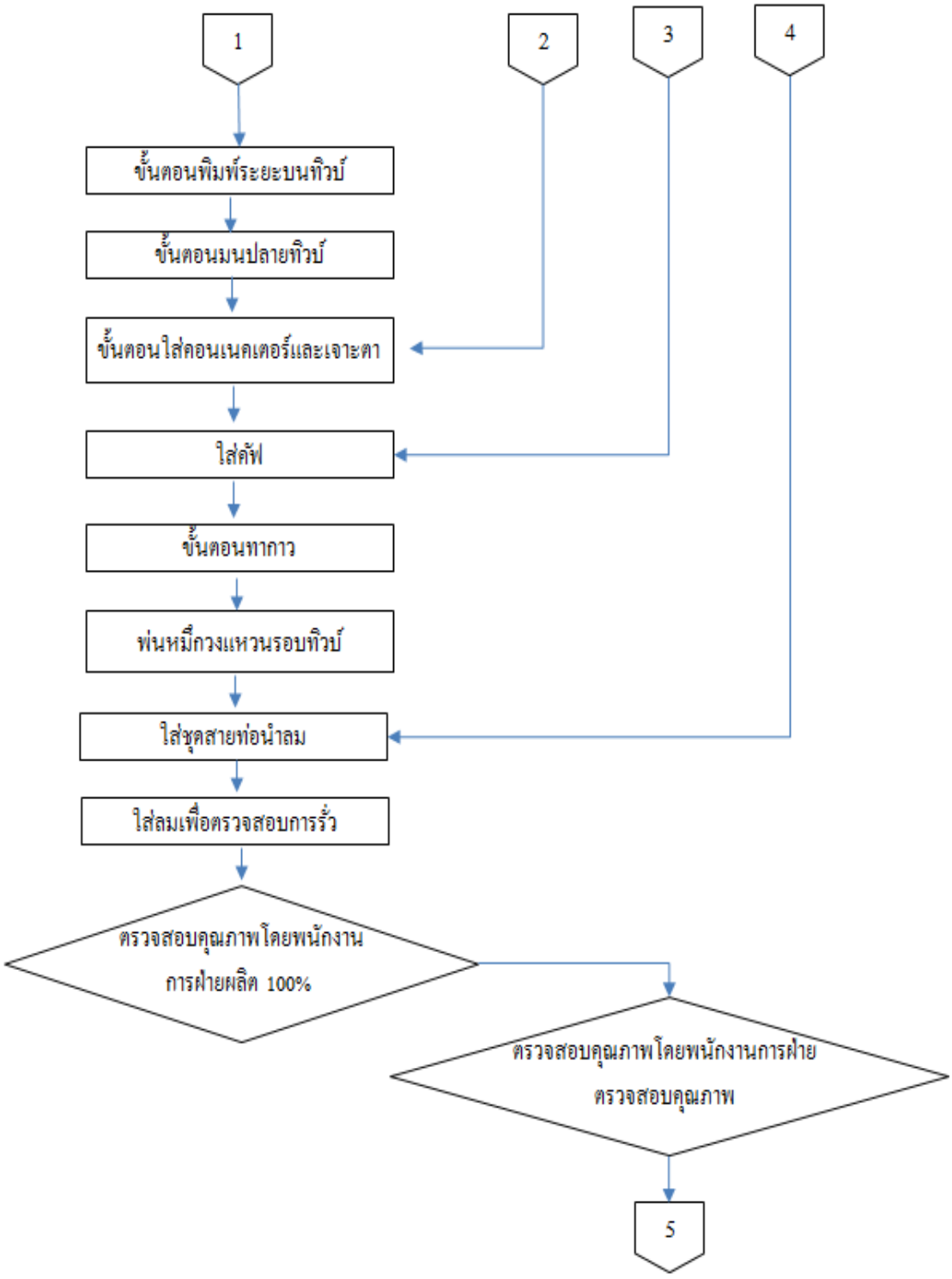
ภาพที่ 7 ตำแหน่งของรอยปิดผนึกปกติ



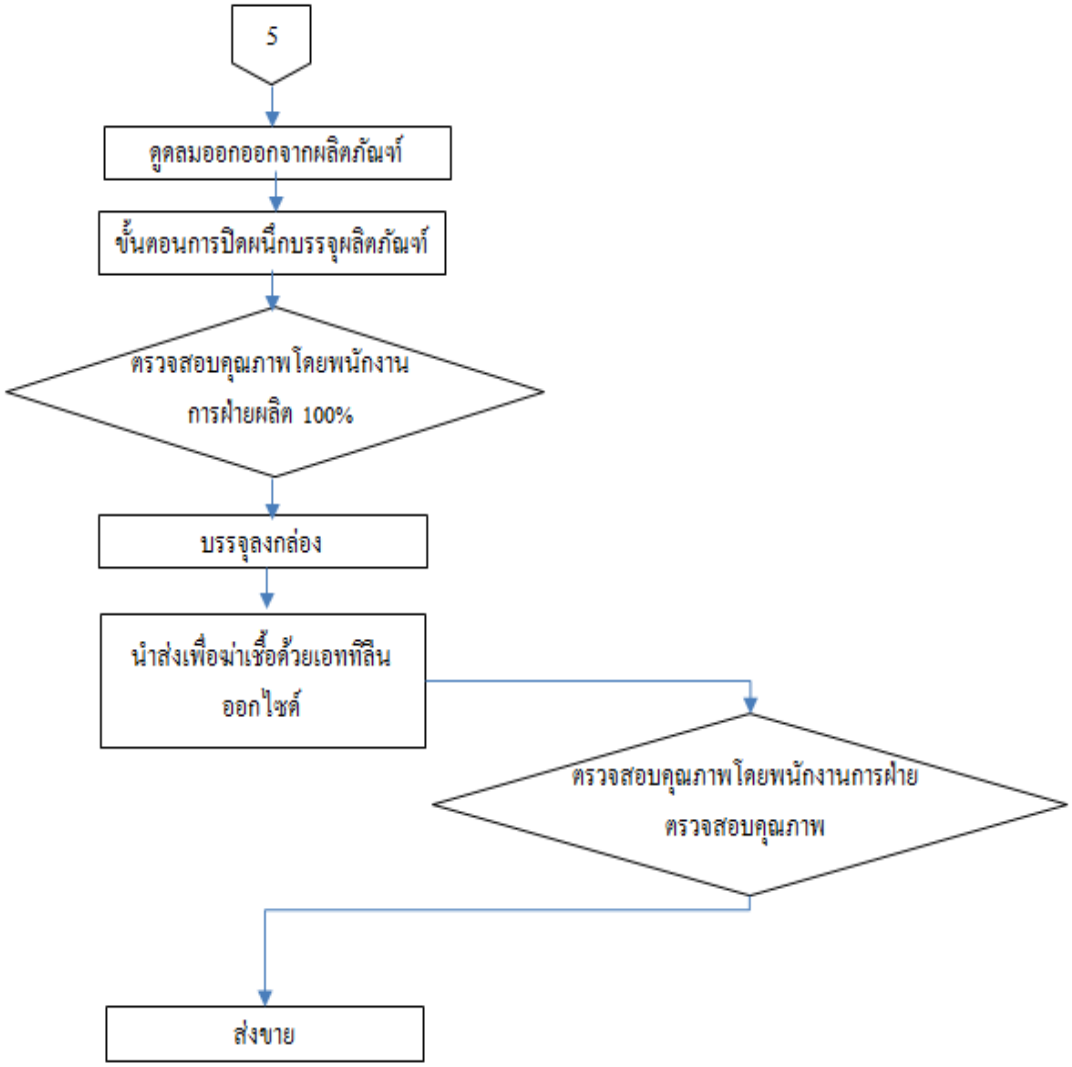
ภาพที่ 8 ภาพของเสียของการปิดผนึกบรรภัณฑ์ประเภทที่เกิดรอยซีล (ส่วนเกิน) เป็นรอยยาว



ภาพที่ 9 แผนกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจ



ภาพที่ 9 แผนกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจ (ต่อ)



ภาพที่ 9 ภาพแผนกระบวนการผลิตท่อช่วยหายใจ (ต่อ)

6. ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

6.1 ศึกษากระบวนการโดยจัดทำแผนที่กระบวนการ (Process Mapping) และใช้การระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากนั้นก็ทำการจัดลำดับความสัมพันธ์ของสาเหตุแต่ละสาเหตุให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการวิเคราะห์ ต่อมานำสาเหตุที่ได้กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สนใจศึกษามาทำการให้คะแนนเพื่อดูความสัมพันธ์ กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สนใจมาทำการวิเคราะห์ด้วย FMEA สุดท้ายนำค่า RPN ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต

6.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยการวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยพบว่าสาเหตุที่น่าจะทำให้เกิดปัญหารอยซีลส่วนเกินที่ฟิล์มเป็นรอยยาวแสดงไว้ในแผนภาพวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผล ในภาพที่ 19 และแสดงรายการตามหัวในแต่ละด้านดังนี้

วัตถุดิบ

1. ความหนาของฟิล์ม
2. ความยืดหยุ่นของฟิล์ม
3. ความชื้นของฟิล์ม
4. ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องบรรจุ
5. น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ต้องบรรจุ

สิ่งแวดล้อม

1. อุณหภูมิของพื้นที่ทำงาน
2. ความชื้นของพื้นที่ทำงาน
3. ระบบน้ำหล่อเย็น
4. ระบบลม

พนักงาน

1. ความเร่งรีบในการทำงาน
2. ทักษะในการทำงาน

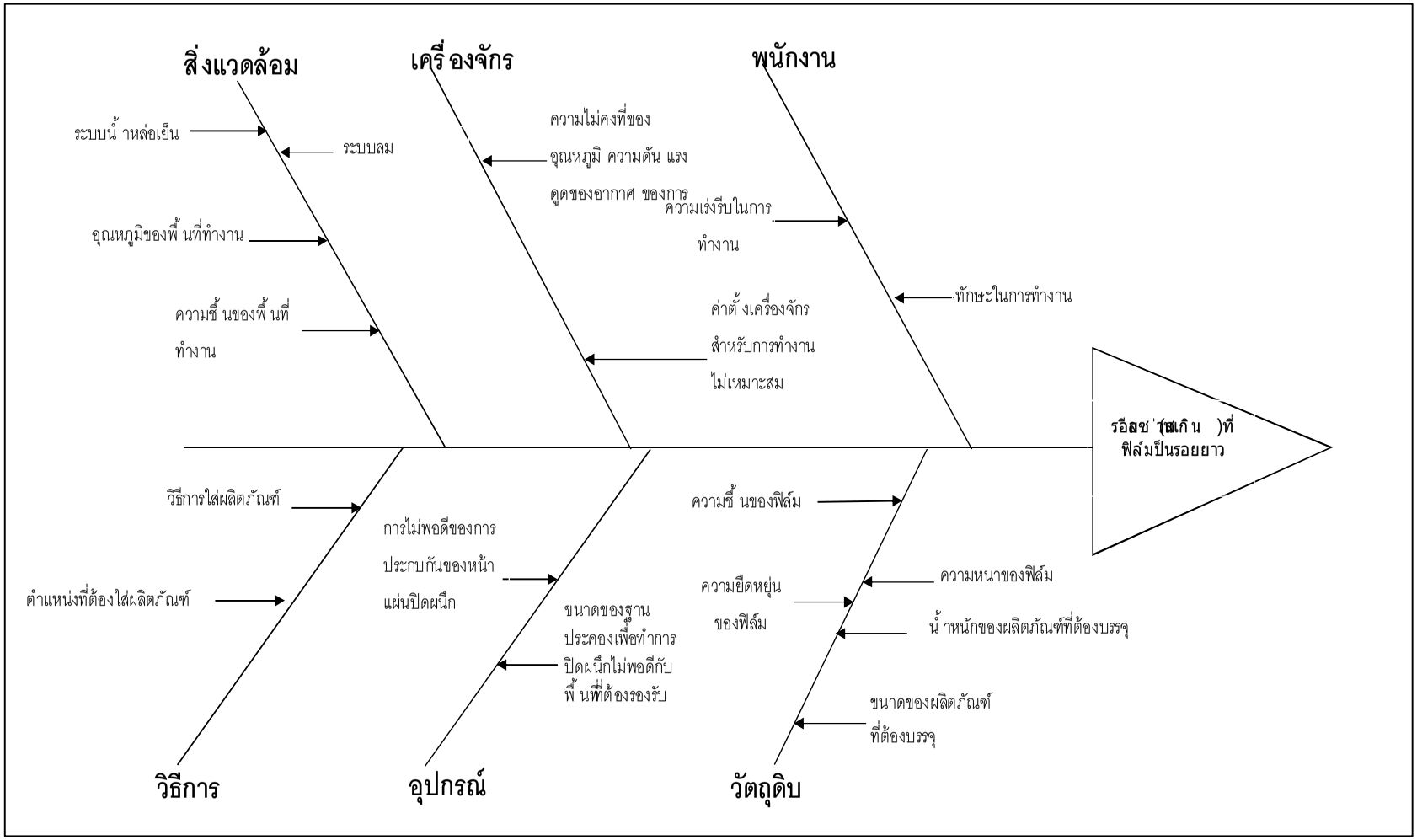
อุปกรณ์

1. การไม่พอดีของการประกบกันของหน้าแผ่นปิดผนึก
2. ขนาดของฐานประคองเพื่อทำการปิดผนึกไม่พอดีกับพื้นที่ท่ต้องรองรับ
3. วิธีการใส่ผลิตภัณฑ์
4. ตำแหน่งที่ต้องใส่ผลิตภัณฑ์

เครื่องจักร

1. ค่าตั้งเครื่องจักรสำหรับการทำงานไม่เหมาะสม
2. ความไม่คงที่ของอุณหภูมิ ความดัน แรงดูดของอากาศ ของการขึ้นรูปฟิล์ม

6.3 นำสาเหตุที่พบได้กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่สนใจมาวิเคราะห์โดย FMEA แสดงในตารางที่ 7 โดยค่า RPN สาเหตุหลักของของเสียทำให้เกิดปัญหารอยซีลส่วนเกินป็นรอยยาวแสดงไว้ในตารางที่ 8



ภาพที่ 10 การวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผลของการเกิดปัญหารอยซีล(ส่วนเกิน)ที่ฟิล์มเป็นรอยยาว

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ข้อมูลบนถุงบรรจุภัณฑ์ไม่ถูกต้อง	ข้อมูลที่แสดงบนถุงบรรจุภัณฑ์ไม่ตรงกับผลิตภัณฑ์ทำให้เสี่ยงต่อการที่นำไปใช้งานกับผู้ป่วยผิดประเภท	7	การสั่งทำข้อมูลเพื่อพิมพ์บนฉลากผิดพลาด	5	ตรวจสอบการทำงานโดยการกำหนดการตรวจชิ้นแรกของผลิตภัณฑ์ โดยพนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายคุณภาพ	1	35
		7	ใบสั่งการทำงานประจำลอตผิดพลาดทำให้การสั่งพิมพ์ข้อมูลไม่ตรงกับความต้องการ	1	ตรวจสอบการทำงานโดยการกำหนดการตรวจชิ้นแรกของผลิตภัณฑ์ โดยพนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายคุณภาพ	1	7
		7	ผลิตภัณฑ์ลอตการผลิตอื่นปน	1	ตรวจสอบการทำงานโดยการกำหนดการตรวจชิ้นแรกของผลิตภัณฑ์ โดยพนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายคุณภาพ ทำการตรวจอบผลิตภัณฑ์ลอตการผลิตเก่าออกจากพื้อนที่การผลิตก่อนเริ่มงาน	1	7

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ข้อความบนถุงบรรจุภัณฑ์ไม่ชัดเจนหรือไม่สามารถอ่านออก	ผู้ใช้งาน (บุคลากรในโรงพยาบาล) ไม่สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากรายละเอียดบนฉลากไม่ชัด	5	ระดับความเข้มของริบบ้อนไม่เหมาะสม	3	กำหนดที่ค่าที่ ระดับความเข้ม110 %	1	15
		5	การผิดปกติของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ฉลาก	3	ตรวจสอบการทำงานโดยการกำหนดการตรวจชิ้นแรกของผลิตภัณฑ์ โดยพนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายคุณภาพ	1	15
	ผู้ใช้งาน (บุคลากรในโรงพยาบาล) นำผลิตภัณฑ์มาใช้กับผู้ป่วยผิด เนื่องจากรายละเอียดบนฉลากไม่ชัด	5	ระดับความเข้มของริบบ้อนไม่เหมาะสม	3	กำหนดที่ 110 %	1	15
		5	การผิดปกติของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ฉลาก	3	ตรวจสอบการทำงานโดยการกำหนด การตรวจชิ้นแรกของผลิตภัณฑ์ โดยพนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายคุณภาพ	1	15

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
มีชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ขวางตำแหน่งการปิดผนึกของถุงบรรจุภัณฑ์	ชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหาย ผู้ใช้งาน(บุคลากรในโรงพยาบาล) ไม่สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้	7	พนักงานการวางชิ้นผลิตภัณฑ์เพื่อทำการบรรจุไม่เหมาะสม	3	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	1	21
		7	แรงกระชากจากการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรทำให้ผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ออกตำแหน่งที่ต้องการ	3	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	1	21
ไม่มีข้อมูลฉลากบนถุง	ผู้ใช้งาน(บุคลากรในโรงพยาบาล) ไม่สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้ เนื่องจากไม่มีรายละเอียดบนฉลาก	5	การผิดปกติของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการพิมพ์ฉลาก	3	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	1	15
		5	ริบบ้อนย่น	1	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	1	5

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ไม่มีข้อมูลฉลากบนถุง	ผู้ใช้งาน(บุคลากรในโรงพยาบาล) นำผลิตภัณฑ์มาใช้กับผู้ป่วยผิดเนื่องจากไม่มีรายละเอียดบนฉลาก	5	ริบบ้อนย่น	3	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	1	15
ผลิตภัณฑ์ไม่ได้ถูกจัดวางตามแบบกำหนด	ชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ได้รับความเสียหาย ทำให้ไม่สามารถใช้งานผลิตภัณฑ์ได้	3	พนักงานการวางชิ้นผลิตภัณฑ์เพื่อทำการบรรจุไม่เหมาะสม	3	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	3	27
ระดับความลึกในการขึ้นรูปของฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์) น้อยระดับที่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์ได้	ไม่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์เพื่อทำการบรรจุปิดผนึกได้	3	เครื่องมือในส่วนของการขึ้นรูปฟิล์มชำรุด	3	ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ 100 % โดยพนักงานการผลิต	3	27
		3	อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)ต่ำเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)น้อยเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ระดับความลึกในการขึ้นรูปของฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)น้อยระดับที่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์ได้	ไม่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์เพื่อทำการบรรจุปิดผนึกได้	3	เวลาลมเป่าที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มีน้อยเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	อุณหภูมิของลมเป่าที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มีน้อยเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	อุหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภุมิของแม่แบบการขึ้นรูปไม่ได้ตามมาตราฐาน	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	ความดันของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภุมิของแม่แบบการขึ้นรูปไม่ได้ตามมาตราฐาน	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	มีการรั่วของน้ำหล่อเย็น	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ระดับความลึกในการขึ้นรูปของฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)น้อยระดับที่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์ได้	ไม่สามารถใส่ผลิตภัณฑ์เพื่อทำการบรรจุปิดผนึกได้	3	มีการรั่วของน้ำหล่อเย็น	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27
		3	เครื่องทำสุญญากาศชำรุด/ไม่ทำงาน	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27
		3	ฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์) ค้างอยู่ที่ตำแหน่งใต้แม่พิมพ์ขึ้นรูปนานเกินไป	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27
ฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับการบรรจุ) หลังจากการขึ้นรูปมีลักษณะย่น	รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ไม่สวยงาม	3	เครื่องมือในส่วนของการขึ้นรูปฟิล์มชำรุด	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27
		3	อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)สูงกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับการบรรจุ) หลังจากการขึ้นรูปมีลักษณะย่น	รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ไม่สวยงาม	3	ความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มากเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	เวลาลมเป่าที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มากเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	อุณหภูมิของลมเป่าที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มีมากเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับการบรรจุ) หลังจากการขึ้นรูปมีลักษณะย่น	รูปลักษณ์ของผลิตภัณฑ์ไม่สวยงาม	3	อุหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภุมิของแม่แบบการขึ้นรูปไม่ได้ตามมาตราฐาน	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	ความดันของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภุมิของแม่แบบการขึ้นรูปไม่ได้ตามมาตราฐาน	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	27
		3	มีการรั่วของน้ำหล่อเย็น	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27
		3	เครื่องทำสุญญากาศชำรุด/ไม่ทำงาน	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27
		3	ฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์)ค้างอยู่ที่ตำแหน่งใต้แม่พิมพ์ขึ้นรูปนานเกินไป	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	3	27

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์) หลังจากการขึ้นรูปมีลักษณะเป็นรู	ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดเชื้อ	9	อุณหภูมิของลมเป่าที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มีมากเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	5	135
		9	อุหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของแม่แบบการขึ้นรูปไม่ได้ตามมาตราฐาน	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	5	135
		9	ความดันของน้ำหล่อเย็นที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของแม่แบบการขึ้นรูปไม่ได้ตามมาตราฐาน	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	5	135
		9	มีการรั่วของน้ำหล่อเย็น	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	5	135

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์) หลังจากการขึ้นรูปมีลักษณะเป็นรู	ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดเชื้อ	9	เครื่องทำสุญญากาศชำรุด/ไม่ทำงาน	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	5	135
		9	ฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์) ค้างอยู่ที่ตำแหน่งใต้แม่พิมพ์ขึ้นรูปนานเกินไป	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	5	135
		9	พื้นที่ส่วนหน้าแม่แบบที่สัมผัสโดยตรงกับฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับการบรรจุ) มีสิ่งแปลกปลอมติดอยู่	3	ตรวจสอบก่อนการเริ่มงาน	5	135

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ตำแหน่งที่ทำการปิดผนึกของฟิล์มและกระดาษไม่สมบูรณ์	ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดเชื้อ	9	เครื่องมือในส่วนของการปิดผนึกชำรุด	5	ทดสอบแรงดึงโดยพนักงานฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ	3	135
		9	ความร้อนที่ให้กับกระดาษ (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มีมากเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	81
		9	ความร้อนที่ให้กับกระดาษ (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)มีน้อยเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	81
		9	ใช้เวลาในการปิดผนึกกระดาษนานเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	81

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

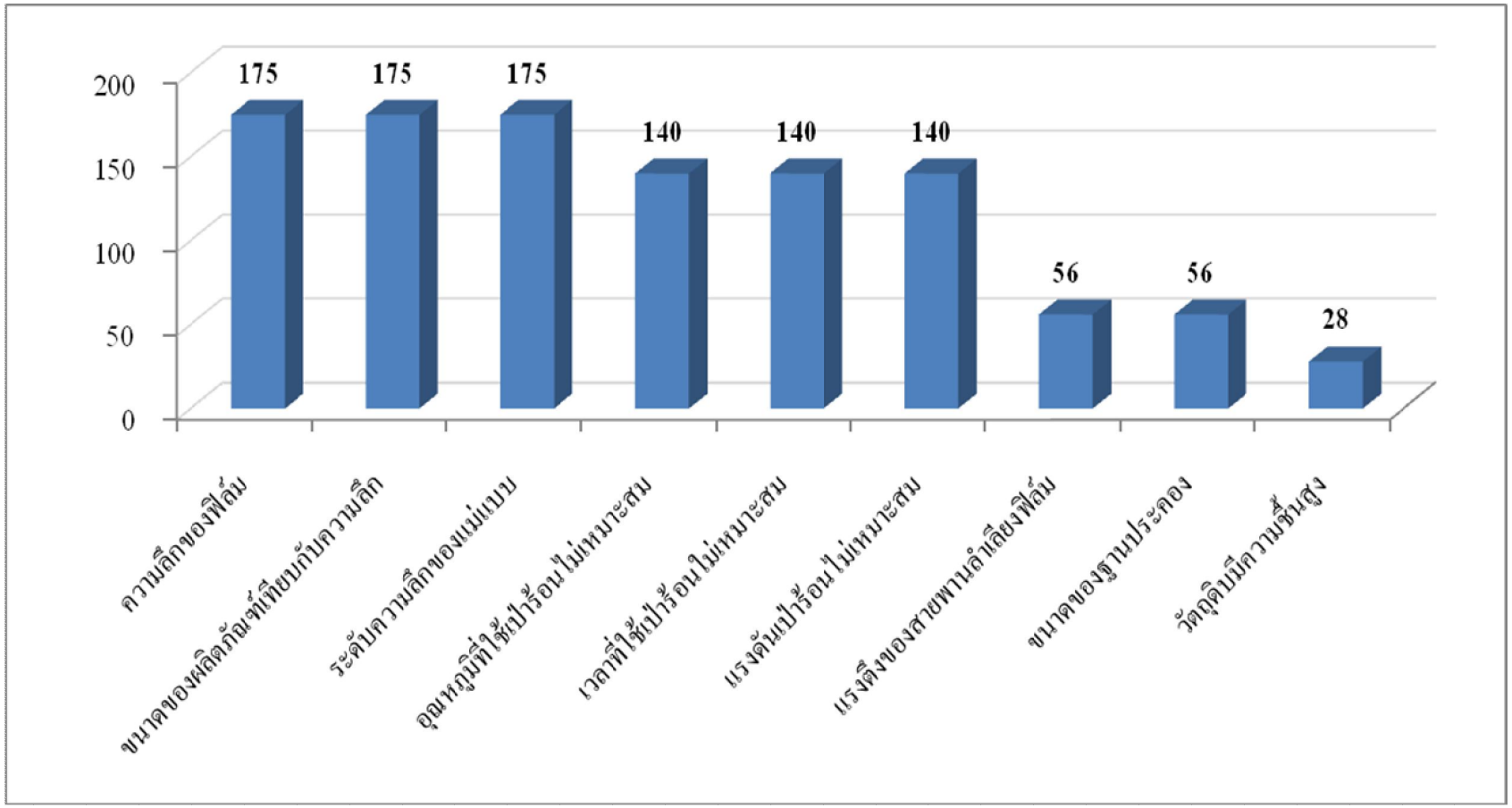
คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ตำแหน่งที่ทำการปิดผนึกของฟิล์มและกระดาษไม่สมบูรณ์	ผลิตภัณฑ์ไม่ปลอดเชื้อ	9	ใช้เวลาในการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์น้อยเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	81
		9	ความดันที่ให้กับกระดาษเพื่อปิดผนึกบรรจุภัณฑ์มีน้อยเกินไป	3	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	81
		9	มีชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ขวางหน้าสัมผัสของการปิดผนึก	5	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	3	135
มีสิ่งปนเปื้อนในถุงบรรจุภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์ถูกปนเปื้อนและมีความเสี่ยงต่อความไม่ปลอดเชื้อ	9	การปนเปื้อนจากการผลิต	3	ตรวจสอบ 100 % โดยพนักงานการผลิต	3	81

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ขนาดของรอยปิดผนึกน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร	ตำแหน่งของการปิดผนึกเสี่ยงต่อการเปิดออก	7	การตั้งค่าระยะการตัดของถุงบรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสม	3	ตรวจสอบการทำงานโดยการกำหนดการตรวจชิ้นแรกของผลิตภัณฑ์ โดยพนักงานฝ่ายผลิต และ พนักงานฝ่ายคุณภาพ	3	63
ตำแหน่งส่วนอื่นของฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)ถูกแม่แบบการปิดผนึกกดทับเป็นรอยยาว	ผลิตภัณฑ์เสี่ยงต่อการไม่ปลอดเชื้อเนื่องจากการรั่วที่ตำแหน่งฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์)	7	ความลึกของฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)หลังการขึ้นรูปมีมากเกินไป	5	ปรับใช้การที่ระดับลึกน้อยที่สุด และตรวจสอบ 100 % โดยพนักงานการผลิต	5	175
		7	ขนาดของผลิตภัณฑ์เทียบกับความลึกหลังการขึ้นรูปไม่เหมาะสม	5	ปรับใช้การที่ระดับลึกน้อยที่สุด และตรวจสอบ 100 % โดยพนักงานการผลิต	5	175
		7	ระดับความลึกของแม่แบบที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)ไม่เหมาะสม	5	ปรับใช้การที่ระดับลึกน้อยที่สุด และตรวจสอบ 100 % โดยพนักงานการผลิต	5	175

ตารางที่ 6 ตาราง FMEA ของกระบวนการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ (ต่อ)

คุณลักษณะความเสียหาย	ผลกระทบ	S	สาเหตุของคุณลักษณะความเสียหาย	O	วิธีการควบคุมปัจจุบัน	D	RPN
ตำแหน่งส่วนอื่นของฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์)ถูกแม่แบบการปิดผนึกกดทับเป็นรอยยาว	ผลิตภัณฑ์เสี่ยงต่อการไม่ปลอดเชื้อเนื่องจากการรั่วที่ตำแหน่งฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับการบรรจุภัณฑ์)	7	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อนไม่เหมาะสม	5	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	4	140
		7	เวลาที่ใช้เป่าร้อนไม่เหมาะสม	5	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	4	140
		7	แรงดันเป่าร้อนไม่เหมาะสม	5	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	4	140
		7	แรงตึงของสายพานลำเลียงฟิล์ม (วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์) ไม่เหมาะสมต่อการขึ้นรูป	2	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	4	56
		7	ขนาดของฐานประคองเพื่อทำการปิดผนึกไม่พอดีกับพื้นที่ท่ต้องรองรับ	2	กำนดการค่าตั้งการทำงานเครื่องจักรในคู่มือการทำงาน	4	56
		7	วัตถุดิบมีความชื้นสูง	2	ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในห้องเก็บและห้องปฏิบัติงาน	2	28



ภาพที่ 11 แสดงแผนภูมิ ผลระดับRPN ของปัจจัยที่ทำให้ เกิดของเสียรอยซีล(ส่วนเกิน) ที่ตำแหน่งอื่นของฟิล์ม(วัตถุดิบสำหรับบรรจุภัณฑ์

7. ขั้นตอนวิเคราะห์ปัญหา

ผลการวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA Process) เพื่อคัดกรองสาเหตุจากแผนภูมิก้างปลาที่ทำการระบุสาเหตุที่น่าจะเป็นไปได้ของปัญหาทั้งหมด โดยการระดมความคิดกับทีมงานที่เกี่ยวข้อง ได้บทสรุปเป็นการนำปัจจัยที่มีระดับ RPN สูงสุด 5 ปัจจัยไปศึกษาต่อถึงผลของปัจจัยที่มีต่อของเสียเป้าหมายซึ่ง 5 ปัจจัยที่จะนำไปศึกษาการออกแบบการทดลองแบบประกอบด้วย

1. ความลึกของแม่แบบ (Die depth)
2. อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน (Temperature)
3. เวลาที่ใช้เป่าร้อน (Time)
4. แรงดันเป่าร้อน (Pressure)
5. น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (Product size)

ระดับของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่จะนำไปทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับได้มาจากประวัติการตั้งค่าเครื่องจักรที่ดีที่สุดในปัจจุบันดังแสดงไว้ในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัย		
		-1 (Minimum)	0 (Nominal)	+1 (Maximum)
1	ความลึกของแม่พิมพ์ (ระดับ)	ระดับที่ 1 (25 มม.)	ระดับที่ 2 (35 มม.)	ระดับที่ 3 (45 มม.)
2	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	94	97	100
3	เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	1.3	1.5	1.7
4	แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI)	4	8	12
5	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กลุ่ม)	กลุ่มที่ 1 (30.32 กรัม)	กลุ่มที่ 2 (45.50 กรัม)	กลุ่มที่ 3 (63.30 กรัม)

8. ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

8.1 ทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) โดยกำหนด 5 ปัจจัยศึกษาในข้อ 7 ที่ 3 ระดับศึกษาคือ ค่าต่ำ(Min) ค่ากลาง(Nominal) และค่าสูง (Max) ทำการทดลองทั้งสิ้น 3^5 และ ทำซ้ำ 2 ครั้ง ทำการทดลองทั้งหมด 486 การทดลอง ตามรายละเอียดของการทดลองในตารางที่ 9

9. ขั้นตอนการควบคุม

แก้ไขคู่มือการทำงานของเครื่องปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ โดยนำค่าตั้งเครื่องจักรที่ได้จากข้อ 8 มาทำการผลิตจริงและประเมินของเสียหลังการปรับปรุง 3 เดือน

10. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ระยะเวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผลแล้วสรุปวิธีการแก้ปัญหาอยู่ระหว่างเดือนตุลาคม 2555 – กุมภาพันธ์ 2556

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
47	1	1	Min	Nominal	Max	Min	Nominal	500
219	2	1	Max	Max	Min	Min	Max	500
360	3	1	Nominal	Nominal	Min	Max	Max	500
198	4	1	Max	Nominal	Min	Max	Max	500
240	5	1	Max	Max	Max	Nominal	Max	500
66	6	1	Min	Max	Nominal	Min	Max	500
251	7	1	Min	Min	Min	Max	Nominal	500
274	8	1	Min	Nominal	Min	Nominal	Min	500
4	9	1	Min	Min	Min	Nominal	Min	500
46	10	1	Min	Nominal	Max	Min	Min	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
48	11	1	Min	Nominal	Max	Min	Max	500
200	12	1	Max	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500
27	13	1	Min	Min	Max	Max	Max	500
94	14	1	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Min	500
317	15	1	Min	Max	Max	Min	Nominal	500
262	16	1	Min	Min	Max	Min	Min	500
181	17	1	Max	Min	Max	Min	Min	500
118	18	1	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Min	500
247	19	1	Min	Min	Min	Nominal	Min	500
385	20	1	Nominal	Max	Min	Max	Min	500
31	21	1	Min	Nominal	Min	Nominal	Min	500
44	22	1	Min	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500
446	23	1	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500
359	24	1	Nominal	Nominal	Min	Max	Nominal	500
218	25	1	Max	Max	Min	Min	Nominal	500
401	26	1	Nominal	Max	Max	Nominal	Nominal	500
149	27	1	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500
208	28	1	Max	Nominal	Max	Min	Min	500
432	29	1	Max	Min	Max	Max	Max	500
268	30	1	Min	Min	Max	Max	Min	500
246	31	1	Min	Min	Min	Min	Max	500
283	32	1	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500
358	33	1	Nominal	Nominal	Min	Max	Min	500
319	34	1	Min	Max	Max	Nominal	Min	500
193	35	1	Max	Nominal	Min	Nominal	Min	500
82	36	1	Nominal	Min	Min	Min	Min	500
77	37	1	Min	Max	Max	Nominal	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
52	38	1	Min	Nominal	Max	Max	Min	500
136	39	1	Nominal	Max	Min	Min	Min	500
302	40	1	Min	Max	Min	Nominal	Nominal	500
185	41	1	Max	Min	Max	Nominal	Nominal	500
179	42	1	Max	Min	Nominal	Max	Nominal	500
16	43	1	Min	Min	Nominal	Max	Min	500
309	44	1	Min	Max	Nominal	Min	Max	500
263	45	1	Min	Min	Max	Min	Nominal	500
414	46	1	Max	Min	Min	Max	Max	500
277	47	1	Min	Nominal	Min	Max	Min	500
264	48	1	Min	Min	Max	Min	Max	500
229	49	1	Max	Max	Nominal	Nominal	Min	500
101	50	1	Nominal	Min	Max	Min	Nominal	500
435	51	1	Max	Nominal	Min	Min	Max	500
129	52	1	Nominal	Nominal	Max	Min	Max	500
165	53	1	Max	Min	Min	Min	Max	500
158	54	1	Nominal	Max	Max	Nominal	Nominal	500
452	55	1	Max	Nominal	Max	Min	Nominal	500
417	56	1	Max	Min	Nominal	Min	Max	500
137	57	1	Nominal	Max	Min	Min	Nominal	500
406	58	1	Max	Min	Min	Min	Min	500
354	59	1	Nominal	Nominal	Min	Min	Max	500
364	60	1	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500
383	61	1	Nominal	Max	Min	Nominal	Nominal	500
88	62	1	Nominal	Min	Min	Max	Min	500
54	63	1	Min	Nominal	Max	Max	Max	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
190	64	1	Max	Nominal	Min	Min	Min	500
109	65	1	Nominal	Nominal	Min	Min	Min	500
177	66	1	Max	Min	Nominal	Nominal	Max	500
79	67	1	Min	Max	Max	Max	Min	500
96	68	1	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Max	500
411	69	1	Max	Min	Min	Nominal	Max	500
70	70	1	Min	Max	Nominal	Max	Min	500
334	71	1	Nominal	Min	Nominal	Min	Min	500
213	72	1	Max	Nominal	Max	Nominal	Max	500
67	73	1	Min	Max	Nominal	Nominal	Min	500
342	74	1	Nominal	Min	Nominal	Max	Max	500
357	75	1	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Max	500
127	76	1	Nominal	Nominal	Max	Min	Min	500
257	77	1	Min	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500
326	78	1	Nominal	Min	Min	Min	Nominal	500
199	79	1	Max	Nominal	Nominal	Min	Min	500
153	80	1	Nominal	Max	Nominal	Max	Max	500
8	81	1	Min	Min	Min	Max	Nominal	500
38	82	1	Min	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500
93	83	1	Nominal	Min	Nominal	Min	Max	500
151	84	1	Nominal	Max	Nominal	Max	Min	500
426	85	1	Max	Min	Max	Min	Max	500
373	86	1	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Min	500
464	87	1	Max	Max	Min	Nominal	Nominal	500
184	88	1	Max	Min	Max	Nominal	Min	500
11	89	1	Min	Min	Nominal	Min	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
11	89	1	Min	Min	Nominal	Min	Nominal	500
126	90	1	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Max	500
437	91	1	Max	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500
261	92	1	Min	Min	Nominal	Max	Max	500
396	93	1	Nominal	Max	Nominal	Max	Max	500
159	94	1	Nominal	Max	Max	Nominal	Max	500
350	95	1	Nominal	Min	Max	Max	Nominal	500
368	96	1	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500
308	97	1	Min	Max	Nominal	Min	Nominal	500
209	98	1	Max	Nominal	Max	Min	Nominal	500
146	99	1	Nominal	Max	Nominal	Min	Nominal	500
337	100	1	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Min	500
187	101	1	Max	Min	Max	Max	Min	500
62	102	1	Min	Max	Min	Max	Nominal	500
345	103	1	Nominal	Min	Max	Min	Max	500
318	104	1	Min	Max	Max	Min	Max	500
461	105	1	Max	Max	Min	Min	Nominal	500
35	106	1	Min	Nominal	Min	Max	Nominal	500
272	107	1	Min	Nominal	Min	Min	Nominal	500
312	108	1	Min	Max	Nominal	Nominal	Max	500
375	109	1	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Max	500
440	110	1	Max	Nominal	Min	Max	Nominal	500
241	111	1	Max	Max	Max	Max	Min	500
74	112	1	Min	Max	Max	Min	Nominal	500
265	113	1	Min	Min	Max	Nominal	Min	500
472	114	1	Max	Max	Nominal	Nominal	Min	500
430	115	1	Max	Min	Max	Max	Min	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
105	116	1	Nominal	Min	Max	Nominal	Max	500
43	117	1	Min	Nominal	Nominal	Max	Min	500
344	118	1	Nominal	Min	Max	Min	Nominal	500
289	119	1	Min	Nominal	Max	Min	Min	500
303	120	1	Min	Max	Min	Nominal	Max	500
224	121	1	Max	Max	Min	Max	Nominal	500
202	122	1	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500
323	123	1	Min	Max	Max	Max	Nominal	500
412	124	1	Max	Min	Min	Max	Min	500
479	125	1	Max	Max	Max	Min	Nominal	500
45	126	1	Min	Nominal	Nominal	Max	Max	500
121	127	1	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500
255	128	1	Min	Min	Nominal	Min	Max	500
230	129	1	Max	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500
100	130	1	Nominal	Min	Max	Min	Min	500
244	131	1	Min	Min	Min	Min	Min	500
152	132	1	Nominal	Max	Nominal	Max	Nominal	500
374	133	1	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500
369	134	1	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Max	500
173	135	1	Max	Min	Nominal	Min	Nominal	500
120	136	1	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Max	500
299	137	1	Min	Max	Min	Min	Nominal	500
355	138	1	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Min	500
305	139	1	Min	Max	Min	Max	Nominal	500
366	140	1	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500
206	141	1	Max	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500
314	142	1	Min	Max	Nominal	Max	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
12	143	1	Min	Min	Nominal	Min	Max	500
365	144	1	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500
273	145	1	Min	Nominal	Min	Min	Max	500
172	146	1	Max	Min	Nominal	Min	Min	500
410	147	1	Max	Min	Min	Nominal	Nominal	500
221	148	1	Max	Max	Min	Nominal	Nominal	500
338	149	1	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500
139	150	1	Nominal	Max	Min	Nominal	Min	500
90	151	1	Nominal	Min	Min	Max	Max	500
169	152	1	Max	Min	Min	Max	Min	500
465	153	1	Max	Max	Min	Nominal	Max	500
87	154	1	Nominal	Min	Min	Nominal	Max	500
346	155	1	Nominal	Min	Max	Nominal	Min	500
457	156	1	Max	Nominal	Max	Max	Min	500
394	157	1	Nominal	Max	Nominal	Max	Min	500
71	158	1	Min	Max	Nominal	Max	Nominal	500
85	159	1	Nominal	Min	Min	Nominal	Min	500
232	160	1	Max	Max	Nominal	Max	Min	500
99	161	1	Nominal	Min	Nominal	Max	Max	500
320	162	1	Min	Max	Max	Nominal	Nominal	500
333	163	1	Nominal	Min	Min	Max	Max	500
210	164	1	Max	Nominal	Max	Min	Max	500
207	165	1	Max	Nominal	Nominal	Max	Max	500
340	166	1	Nominal	Min	Nominal	Max	Min	500
157	167	1	Nominal	Max	Max	Nominal	Min	500
53	168	1	Min	Nominal	Max	Max	Nominal	500
325	169	1	Nominal	Min	Min	Min	Min	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
166	170	1	Max	Min	Min	Nominal	Min	500
269	171	1	Min	Min	Max	Max	Nominal	500
327	172	1	Nominal	Min	Min	Min	Max	500
116	173	1	Nominal	Nominal	Min	Max	Nominal	500
275	174	1	Min	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500
307	175	1	Min	Max	Nominal	Min	Min	500
222	176	1	Max	Max	Min	Nominal	Max	500
56	177	1	Min	Max	Min	Min	Nominal	500
42	178	1	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500
332	179	1	Nominal	Min	Min	Max	Nominal	500
470	180	1	Max	Max	Nominal	Min	Nominal	500
160	181	1	Nominal	Max	Max	Max	Min	500
91	182	1	Nominal	Min	Nominal	Min	Min	500
475	183	1	Max	Max	Nominal	Max	Min	500
228	184	1	Max	Max	Nominal	Min	Max	500
284	185	1	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500
170	186	1	Max	Min	Min	Max	Nominal	500
386	187	1	Nominal	Max	Min	Max	Nominal	500
125	188	1	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500
367	189	1	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Min	500
6	190	1	Min	Min	Min	Nominal	Max	500
142	191	1	Nominal	Max	Min	Max	Min	500
176	192	1	Max	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500
191	193	1	Max	Nominal	Min	Min	Nominal	500
424	194	1	Max	Min	Max	Min	Min	500
471	195	1	Max	Max	Nominal	Min	Max	500
161	196	1	Nominal	Max	Max	Max	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
25	197	1	Min	Min	Max	Max	Min	500
182	198	1	Max	Min	Max	Min	Nominal	500
30	199	1	Min	Nominal	Min	Min	Max	500
195	200	1	Max	Nominal	Min	Nominal	Max	500
110	201	1	Nominal	Nominal	Min	Min	Nominal	500
128	202	1	Nominal	Nominal	Max	Min	Nominal	500
15	203	1	Min	Min	Nominal	Nominal	Max	500
226	204	1	Max	Max	Nominal	Min	Min	500
329	205	1	Nominal	Min	Min	Nominal	Nominal	500
397	206	1	Nominal	Max	Max	Min	Min	500
33	207	1	Min	Nominal	Min	Nominal	Max	500
171	208	1	Max	Min	Min	Max	Max	500
336	209	1	Nominal	Min	Nominal	Min	Max	500
134	210	1	Nominal	Nominal	Max	Max	Nominal	500
431	211	1	Max	Min	Max	Max	Nominal	500
163	212	1	Max	Min	Min	Min	Min	500
421	213	1	Max	Min	Nominal	Max	Min	500
188	214	1	Max	Min	Max	Max	Nominal	500
183	215	1	Max	Min	Max	Min	Max	500
434	216	1	Max	Nominal	Min	Min	Nominal	500
313	217	1	Min	Max	Nominal	Max	Min	500
459	218	1	Max	Nominal	Max	Max	Max	500
416	219	1	Max	Min	Nominal	Min	Nominal	500
451	220	1	Max	Nominal	Max	Min	Min	500
361	221	1	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Min	500
49	222	1	Min	Nominal	Max	Nominal	Min	500
371	223	1	Nominal	Nominal	Max	Min	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
23	224	1	Min	Min	Max	Nominal	Nominal	500
447	225	1	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500
61	226	1	Min	Max	Min	Max	Min	500
388	227	1	Nominal	Max	Nominal	Min	Min	500
352	228	1	Nominal	Nominal	Min	Min	Min	500
86	229	1	Nominal	Min	Min	Nominal	Nominal	500
481	230	1	Max	Max	Max	Nominal	Min	500
10	231	1	Min	Min	Nominal	Min	Min	500
376	232	1	Nominal	Nominal	Max	Max	Min	500
57	233	1	Min	Max	Min	Min	Max	500
18	234	1	Min	Min	Nominal	Max	Max	500
267	235	1	Min	Min	Max	Nominal	Max	500
148	236	1	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Min	500
76	237	1	Min	Max	Max	Nominal	Min	500
462	238	1	Max	Max	Min	Min	Max	500
131	239	1	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500
391	240	1	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Min	500
258	241	1	Min	Min	Nominal	Nominal	Max	500
73	242	1	Min	Max	Max	Min	Min	500
450	243	1	Max	Nominal	Nominal	Max	Max	500
103	244	1	Nominal	Min	Max	Nominal	Min	500
106	245	1	Nominal	Min	Max	Max	Min	500
468	246	1	Max	Max	Min	Max	Max	500
348	247	1	Nominal	Min	Max	Nominal	Max	500
59	248	1	Min	Max	Min	Nominal	Nominal	500
463	249	1	Max	Max	Min	Nominal	Min	500
64	250	1	Min	Max	Nominal	Min	Min	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
231	251	1	Max	Max	Nominal	Nominal	Max	500
243	252	1	Max	Max	Max	Max	Max	500
97	253	1	Nominal	Min	Nominal	Max	Min	500
227	254	1	Max	Max	Nominal	Min	Nominal	500
418	255	1	Max	Min	Nominal	Nominal	Min	500
288	256	1	Min	Nominal	Nominal	Max	Max	500
72	257	1	Min	Max	Nominal	Max	Max	500
291	258	1	Min	Nominal	Max	Min	Max	500
178	259	1	Max	Min	Nominal	Max	Min	500
83	260	1	Nominal	Min	Min	Min	Nominal	500
293	261	1	Min	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500
17	262	1	Min	Min	Nominal	Max	Nominal	500
211	263	1	Max	Nominal	Max	Nominal	Min	500
20	264	1	Min	Min	Max	Min	Nominal	500
456	265	1	Max	Nominal	Max	Nominal	Max	500
279	266	1	Min	Nominal	Min	Max	Max	500
204	267	1	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500
356	268	1	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500
422	269	1	Max	Min	Nominal	Max	Nominal	500
34	270	1	Min	Nominal	Min	Max	Min	500
147	271	1	Nominal	Max	Nominal	Min	Max	500
295	272	1	Min	Nominal	Max	Max	Min	500
26	273	1	Min	Min	Max	Max	Nominal	500
60	274	1	Min	Max	Min	Nominal	Max	500
215	275	1	Max	Nominal	Max	Max	Nominal	500
379	276	1	Nominal	Max	Min	Min	Min	500
300	277	1	Min	Max	Min	Min	Max	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
445	278	1	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500
217	279	1	Max	Max	Min	Min	Min	500
271	280	1	Min	Nominal	Min	Min	Min	500
223	281	1	Max	Max	Min	Max	Min	500
420	282	1	Max	Min	Nominal	Nominal	Max	500
252	283	1	Min	Min	Min	Max	Max	500
135	284	1	Nominal	Nominal	Max	Max	Max	500
301	285	1	Min	Max	Min	Nominal	Min	500
413	286	1	Max	Min	Min	Max	Nominal	500
13	287	1	Min	Min	Nominal	Nominal	Min	500
341	288	1	Nominal	Min	Nominal	Max	Nominal	500
107	289	1	Nominal	Min	Max	Max	Nominal	500
409	290	1	Max	Min	Min	Nominal	Min	500
486	291	1	Max	Max	Max	Max	Max	500
370	292	1	Nominal	Nominal	Max	Min	Min	500
234	293	1	Max	Max	Nominal	Max	Max	500
390	294	1	Nominal	Max	Nominal	Min	Max	500
478	295	1	Max	Max	Max	Min	Min	500
140	296	1	Nominal	Max	Min	Nominal	Nominal	500
40	297	1	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500
347	298	1	Nominal	Min	Max	Nominal	Nominal	500
389	299	1	Nominal	Max	Nominal	Min	Nominal	500
321	300	1	Min	Max	Max	Nominal	Max	500
174	301	1	Max	Min	Nominal	Min	Max	500
104	302	1	Nominal	Min	Max	Nominal	Nominal	500
192	303	1	Max	Nominal	Min	Min	Max	500
353	304	1	Nominal	Nominal	Min	Min	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
294	305	1	Min	Nominal	Max	Nominal	Max	500
113	306	1	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500
392	307	1	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500
133	308	1	Nominal	Nominal	Max	Max	Min	500
78	309	1	Min	Max	Max	Nominal	Max	500
7	310	1	Min	Min	Min	Max	Min	500
282	311	1	Min	Nominal	Nominal	Min	Max	500
201	312	1	Max	Nominal	Nominal	Min	Max	500
122	313	1	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500
474	314	1	Max	Max	Nominal	Nominal	Max	500
423	315	1	Max	Min	Nominal	Max	Max	500
292	316	1	Min	Nominal	Max	Nominal	Min	500
220	317	1	Max	Max	Min	Nominal	Min	500
425	318	1	Max	Min	Max	Min	Nominal	500
316	319	1	Min	Max	Max	Min	Min	500
466	320	1	Max	Max	Min	Max	Min	500
449	321	1	Max	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500
102	322	1	Nominal	Min	Max	Min	Max	500
428	323	1	Max	Min	Max	Nominal	Nominal	500
111	324	1	Nominal	Nominal	Min	Min	Max	500
260	325	1	Min	Min	Nominal	Max	Nominal	500
480	326	1	Max	Max	Max	Min	Max	500
84	327	1	Nominal	Min	Min	Min	Max	500
256	328	1	Min	Min	Nominal	Nominal	Min	500
245	329	1	Min	Min	Min	Min	Nominal	500
281	330	1	Min	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500
138	331	1	Nominal	Max	Min	Min	Max	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
429	332	1	Max	Min	Max	Nominal	Max	500
485	333	1	Max	Max	Max	Max	Nominal	500
441	334	1	Max	Nominal	Min	Max	Max	500
81	335	1	Min	Max	Max	Max	Max	500
180	336	1	Max	Min	Nominal	Max	Max	500
458	337	1	Max	Nominal	Max	Max	Nominal	500
29	338	1	Min	Nominal	Min	Min	Nominal	500
108	339	1	Nominal	Min	Max	Max	Max	500
3	340	1	Min	Min	Min	Min	Max	500
322	341	1	Min	Max	Max	Max	Min	500
50	342	1	Min	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500
248	343	1	Min	Min	Min	Nominal	Nominal	500
75	344	1	Min	Max	Max	Min	Max	500
58	345	1	Min	Max	Min	Nominal	Min	500
362	346	1	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500
387	347	1	Nominal	Max	Min	Max	Max	500
117	348	1	Nominal	Nominal	Min	Max	Max	500
143	349	1	Nominal	Max	Min	Max	Nominal	500
155	350	1	Nominal	Max	Max	Min	Nominal	500
403	351	1	Nominal	Max	Max	Max	Min	500
405	352	1	Nominal	Max	Max	Max	Max	500
233	353	1	Max	Max	Nominal	Max	Nominal	500
400	354	1	Nominal	Max	Max	Nominal	Min	500
39	355	1	Min	Nominal	Nominal	Min	Max	500
194	356	1	Max	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500
9	357	1	Min	Min	Min	Max	Max	500
36	358	1	Min	Nominal	Min	Max	Max	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
328	359	1	Nominal	Min	Min	Nominal	Min	500
436	360	1	Max	Nominal	Min	Nominal	Min	500
398	361	1	Nominal	Max	Max	Min	Nominal	500
189	362	1	Max	Min	Max	Max	Max	500
407	363	1	Max	Min	Min	Min	Nominal	500
453	364	1	Max	Nominal	Max	Min	Max	500
65	365	1	Min	Max	Nominal	Min	Nominal	500
168	366	1	Max	Min	Min	Nominal	Max	500
286	367	1	Min	Nominal	Nominal	Max	Min	500
115	368	1	Nominal	Nominal	Min	Max	Min	500
239	369	1	Max	Max	Max	Nominal	Nominal	500
197	370	1	Max	Nominal	Min	Max	Nominal	500
5	371	1	Min	Min	Min	Nominal	Nominal	500
311	372	1	Min	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500
399	373	1	Nominal	Max	Max	Min	Max	500
296	374	1	Min	Nominal	Max	Max	Nominal	500
236	375	1	Max	Max	Max	Min	Nominal	500
205	376	1	Max	Nominal	Nominal	Max	Min	500
287	377	1	Min	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500
32	378	1	Min	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500
237	379	1	Max	Max	Max	Min	Max	500
235	380	1	Max	Max	Max	Min	Min	500
419	381	1	Max	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500
132	382	1	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Max	500
382	383	1	Nominal	Max	Min	Nominal	Min	500
89	384	1	Nominal	Min	Min	Max	Nominal	500
372	385	1	Nominal	Nominal	Max	Min	Max	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
55	386	1	Min	Max	Min	Min	Min	500
427	387	1	Max	Min	Max	Nominal	Min	500
249	388	1	Min	Min	Min	Nominal	Max	500
144	389	1	Nominal	Max	Min	Max	Max	500
225	390	1	Max	Max	Min	Max	Max	500
1	391	1	Min	Min	Min	Min	Min	500
442	392	1	Max	Nominal	Nominal	Min	Min	500
280	393	1	Min	Nominal	Nominal	Min	Min	500
304	394	1	Min	Max	Min	Max	Min	500
363	395	1	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Max	500
98	396	1	Nominal	Min	Nominal	Max	Nominal	500
80	397	1	Min	Max	Max	Max	Nominal	500
250	398	1	Min	Min	Min	Max	Min	500
203	399	1	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500
259	400	1	Min	Min	Nominal	Max	Min	500
266	401	1	Min	Min	Max	Nominal	Nominal	500
270	402	1	Min	Min	Max	Max	Max	500
380	403	1	Nominal	Max	Min	Min	Nominal	500
467	404	1	Max	Max	Min	Max	Nominal	500
310	405	1	Min	Max	Nominal	Nominal	Min	500
242	406	1	Max	Max	Max	Max	Nominal	500
335	407	1	Nominal	Min	Nominal	Min	Nominal	500
150	408	1	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Max	500
167	409	1	Max	Min	Min	Nominal	Nominal	500
2	410	1	Min	Min	Min	Min	Nominal	500
381	411	1	Nominal	Max	Min	Min	Max	500
212	412	1	Max	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
22	413	1	Min	Min	Max	Nominal	Min	500
154	414	1	Nominal	Max	Max	Min	Min	500
112	415	1	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Min	500
433	416	1	Max	Nominal	Min	Min	Min	500
51	417	1	Min	Nominal	Max	Nominal	Max	500
238	418	1	Max	Max	Max	Nominal	Min	500
482	419	1	Max	Max	Max	Nominal	Nominal	500
476	420	1	Max	Max	Nominal	Max	Nominal	500
41	421	1	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500
339	422	1	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Max	500
351	423	1	Nominal	Min	Max	Max	Max	500
68	424	1	Min	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500
37	425	1	Min	Nominal	Nominal	Min	Min	500
483	426	1	Max	Max	Max	Nominal	Max	500
443	427	1	Max	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500
395	428	1	Nominal	Max	Nominal	Max	Nominal	500
24	429	1	Min	Min	Max	Nominal	Max	500
477	430	1	Max	Max	Nominal	Max	Max	500
114	431	1	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Max	500
124	432	1	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Min	500
330	433	1	Nominal	Min	Min	Nominal	Max	500
377	434	1	Nominal	Nominal	Max	Max	Nominal	500
28	435	1	Min	Nominal	Min	Min	Min	500
298	436	1	Min	Max	Min	Min	Min	500
175	437	1	Max	Min	Nominal	Nominal	Min	500
123	438	1	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500
349	439	1	Nominal	Min	Max	Max	Min	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
306	440	1	Min	Max	Min	Max	Max	500
469	441	1	Max	Max	Nominal	Min	Min	500
196	442	1	Max	Nominal	Min	Max	Min	500
444	443	1	Max	Nominal	Nominal	Min	Max	500
276	444	1	Min	Nominal	Min	Nominal	Max	500
448	445	1	Max	Nominal	Nominal	Max	Min	500
378	446	1	Nominal	Nominal	Max	Max	Max	500
439	447	1	Max	Nominal	Min	Max	Min	500
404	448	1	Nominal	Max	Max	Max	Nominal	500
92	449	1	Nominal	Min	Nominal	Min	Nominal	500
402	450	1	Nominal	Max	Max	Nominal	Max	500
297	451	1	Min	Nominal	Max	Max	Max	500
278	452	1	Min	Nominal	Min	Max	Nominal	500
460	453	1	Max	Max	Min	Min	Min	500
290	454	1	Min	Nominal	Max	Min	Nominal	500
19	455	1	Min	Min	Max	Min	Min	500
21	456	1	Min	Min	Max	Min	Max	500
438	457	1	Max	Nominal	Min	Nominal	Max	500
216	458	1	Max	Nominal	Max	Max	Max	500
162	459	1	Nominal	Max	Max	Max	Max	500
63	460	1	Min	Max	Min	Max	Max	500
156	461	1	Nominal	Max	Max	Min	Max	500
454	462	1	Max	Nominal	Max	Nominal	Min	500
315	463	1	Min	Max	Nominal	Max	Max	500
253	464	1	Min	Min	Nominal	Min	Min	500
285	465	1	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500
331	466	1	Nominal	Min	Min	Max	Min	500

ตารางที่ 8 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

Std Order	Run Order	Blocks	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์	จำนวนทดสอบ
324	467	1	Min	Max	Max	Max	Max	500
69	468	1	Min	Max	Nominal	Nominal	Max	500
408	469	1	Max	Min	Min	Min	Max	500
455	470	1	Max	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500
214	471	1	Max	Nominal	Max	Max	Min	500
415	472	1	Max	Min	Nominal	Min	Min	500
95	473	1	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500
14	474	1	Min	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500
186	475	1	Max	Min	Max	Nominal	Max	500
145	476	1	Nominal	Max	Nominal	Min	Min	500
254	477	1	Min	Min	Nominal	Min	Nominal	500
473	478	1	Max	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500
343	479	1	Nominal	Min	Max	Min	Min	500
119	480	1	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500
164	481	1	Max	Min	Min	Min	Nominal	500
393	482	1	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Max	500
130	483	1	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Min	500
484	484	1	Max	Max	Max	Max	Min	500
141	485	1	Nominal	Max	Min	Nominal	Max	500
384	486	1	Nominal	Max	Min	Nominal	Max	500

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากบทที่ 3 มีปัจจัยหลัก 5 ตัว ที่มีอิทธิพลต่อของเสียที่ต้องการศึกษา คือความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลา แรงดันลมที่ใช้ในการเป่า และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะได้นำปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป

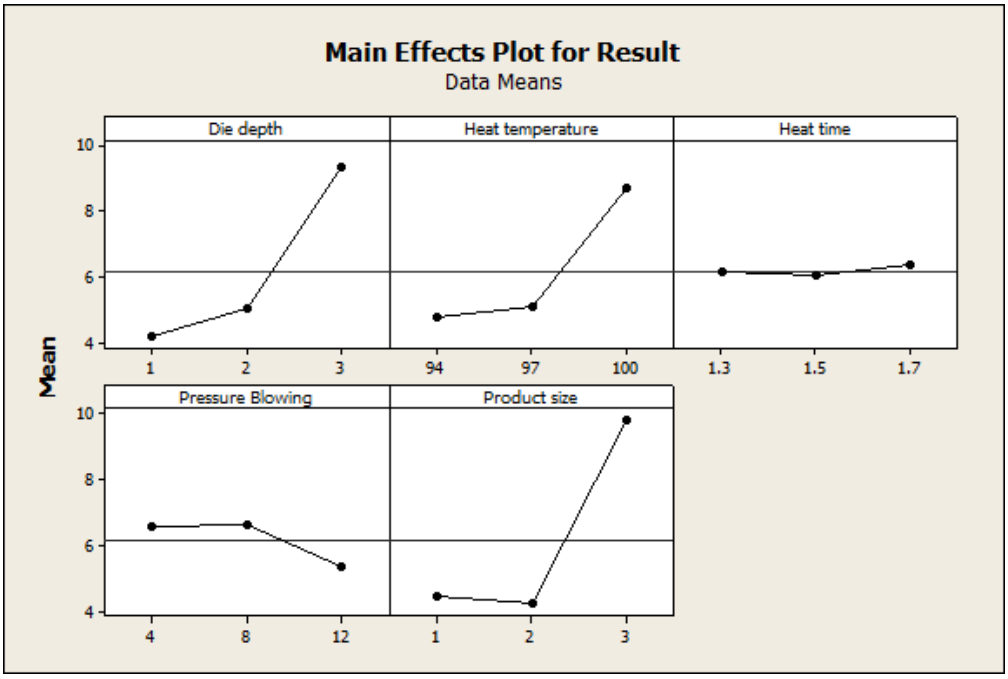
1. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

1.1 ผลการทดลองข้อมูลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น

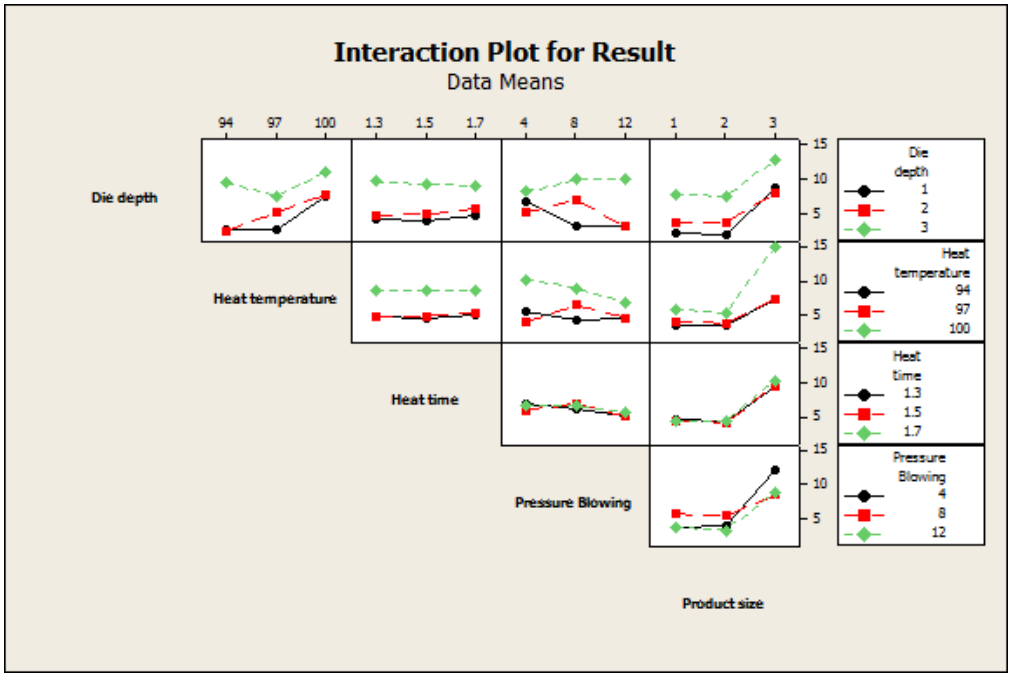
ผลการทดลองข้อมูลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น ซึ่งค่าการตอบสนอง (Response Value) y คือ จำนวนของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกิน และปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัย 1 คความลึกของแม่พิมพ์ ปัจจัย 2 อุณหภูมิ ปัจจัย 3 เวลาในการให้ความร้อน ปัจจัย 4 แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ปัจจัย 5 น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ จากจำนวนของเสียที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial Design นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองดังกล่าวที่ระดับนัยสำคัญ (P-Value) 0.05 โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงดังภาพ 14 และแผนภาพอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดของเสีย แสดงอิทธิพลหลัก(Main Effect) แสดงดังภาพที่ 12 และ ผลของอิทธิพลร่วมดังภาพที่ 13

ตารางที่ 9 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบ 3^k ของ 5 ปัจจัย

ลำดับ	ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัย		
		-1 (Minimum)	0 (Nominal)	+1 (Maximum)
1	ความลึกของแม่พิมพ์ (ระดับ)	ระดับที่ 1 (25 มม.)	ระดับที่ 2 (35 มม.)	ระดับที่ 3 (45 มม.)
2	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	94	97	100
3	เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	1.3	1.5	1.7
4	แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI)	4	8	12
5	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กลุ่ม)	กลุ่มที่ 1 (30.32 กรัม)	กลุ่มที่ 2 (45.50 กรัม)	กลุ่มที่ 3 (63.30 กรัม)



ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 13 แผนภูมิ แสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลา แรงดันลม ที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

Factorial Fit: Result versus Die depth, Heat temperature, ...

```
* NOTE * Data in the worksheet do not appear to match the center p
* NOTE * This design has some botched runs.  It will be analyzed u
         regression approach.


Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term               Effect     Coef  SE Coef      T      P
Constant                    6.1708   0.1892  32.62  0.000
Die depth          5.1296   2.5648   0.2317  11.07  0.000
Heat temperature   3.9198   1.9599   0.2317   8.46  0.000
Heat time          0.1975   0.0988   0.2317   0.43  0.670
Pressure Blowing  -1.2654  -0.6327   0.2317  -2.73  0.007
Product size       5.3642   2.6821   0.2317  11.58  0.000


S = 4.17066     PRESS = 8573.85
R-Sq = 41.16%   R-Sq(pred) = 39.57%   R-Sq(adj) = 40.54%


Analysis of Variance for Result (coded units)

Source               DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS       F      P
Main Effects          5   5839.5   5839.49  1167.90   67.14  0.000
  Die depth           1   2131.4   2131.36  2131.36  122.53  0.000
  Heat temperature    1   1244.5   1244.52  1244.52   71.55  0.000
  Heat time           1      3.2      3.16     3.16    0.18  0.670
  Pressure Blowing    1    129.7    129.71   129.71    7.46  0.007
  Product size        1   2330.7   2330.74  2330.74  133.99  0.000
Residual Error      480   8349.3   8349.33    17.39
  Lack of Fit       237   7243.8   7243.83    30.56    6.72  0.000
  Pure Error        243   1105.5   1105.50     4.55
Total               485  14188.8
```

ภาพที่ 14 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทดลองแบบ 3^k ของ 5 ปัจจัย

จากผลการทดลองพบว่าค่า P- value ของ 4 ปัจจัย คือ Die dept (ความลึกของแม่พิมพ์) Heat temperature (อุณหภูมิ) Pressure Blowing (แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม) และ Product size (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์) มีค่า P value น้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปัจจัยดังกล่าว มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง ซึ่งคือของเสียประเภทซีลซ้ำ และในทางตรงกันข้าม Heat time (เวลา ที่ใช้ในการให้ความร้อน) มีค่า มีค่า P value มากกว่า 0.05 ซึ่งแสดงว่า เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อ ของเสียประเภทซีลส่วนเกิน แต่เนื่องจาก ค่า R-sq มีค่าต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากมีผันแปรที่อธิบายไม่ได้ หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น โดยอาจมีสาเหตุมาจากจำนวนการทำซ้ำของการทดลองน้อยเกินไป ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองใหม่ โดยลดปัจจัยที่ไม่มีผลกับของเสียคือ เวลา (Heat time) และกำหนดกลุ่มน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ Product size เป็นกลุ่มที่ 2 และออกแบบการทดลองใหม่โดยมีขอบเขตดังนี้

1. เลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์น้ำหนักกลุ่มเดียวคือ กลุ่ม 2 เป็นตัวแทน เนื่องจากเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตมากที่สุด

2. ออกแบบการทดลองใหม่โดยตรวจสอบปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยคือ คือความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ และแรงดันลมที่ใช้ในการเป่าโดยใช้ระดับปัจจัยแต่ละระดับอยู่ที่ 2 ระดับดังตารางที่ 10

3. ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full factorial 2^k โดย k คือปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยตามข้อมูลในข้อ 2 เพิ่มการทำซ้ำเป็น 5 ครั้ง

4. ปรับเปลี่ยนค่า y จากจำนวนของเสีย เปลี่ยนเป็นความยาวของ ของเสียที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 10 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองแบบ 2^k ของ 3 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ และ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม

ลำดับ	ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัย	
		-1(Minimum)	+1(Maximum)
1	ความลึกของแม่พิมพ์ (ระดับ)	ระดับที่ 1 (25 มม.)	ระดับที่ 3 (45 มม.)
2	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	94	100
3	แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI)	4	12

ผลการทดลองข้อมูลที่ได้จากการทดลอง2^k Factorial Design ซึ่งค่าการตอบสนอง (Response Value) y คือ จำนวนของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกิน และปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยได้แก่ ปัจจัย 1 คือ ความลึกของแม่พิมพ์ ปัจจัย 2 คือ อุณหภูมิ และปัจจัยที่ 3 คือ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม จากจำนวนของเสียที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองดังกล่าวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) แสดงดังภาพ 15 การกระจายตัวของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระ ของส่วนตกค้าง แสดงดังภาพ16 แผนภาพอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกิดของเสีย แสดงอิทธิพลหลัก(Main Effect) แสดงดังภาพที่ 17 และ ผลของอิทธิพลร่วมดังภาพที่ 18

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ค่า R^2 แสดงให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์กันของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับดีมากคือ 78.64 % และ R^2 (adj) คือ 83.34% และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญ (P value < 0.05) นั้นประกอบ

Factorial Fit: Result versus Die dep, Heat temp, Blowing pressure

Estimated Effects and Coefficients for Result (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		51.93	2.438	21.30	0.000
Die dep	51.64	25.82	2.438	10.59	0.000
Heat temp	32.17	16.08	2.438	6.60	0.000
Blowing pressure	2.05	1.03	2.438	0.42	0.676
Die dep*Heat temp	-20.07	-10.03	2.438	-4.11	0.000
Die dep*Blowing pressure	8.26	4.13	2.438	1.69	0.100
Heat temp*Blowing pressure	14.38	7.19	2.438	2.95	0.006
Die dep*Heat temp*Blowing pressure	20.59	10.29	2.438	4.22	0.000

S = 15.4220 PRESS = 11891.9
R-Sq = 86.33% R-Sq(pred) = 78.64% R-Sq(adj) = 83.34%

Analysis of Variance for Result (coded units)

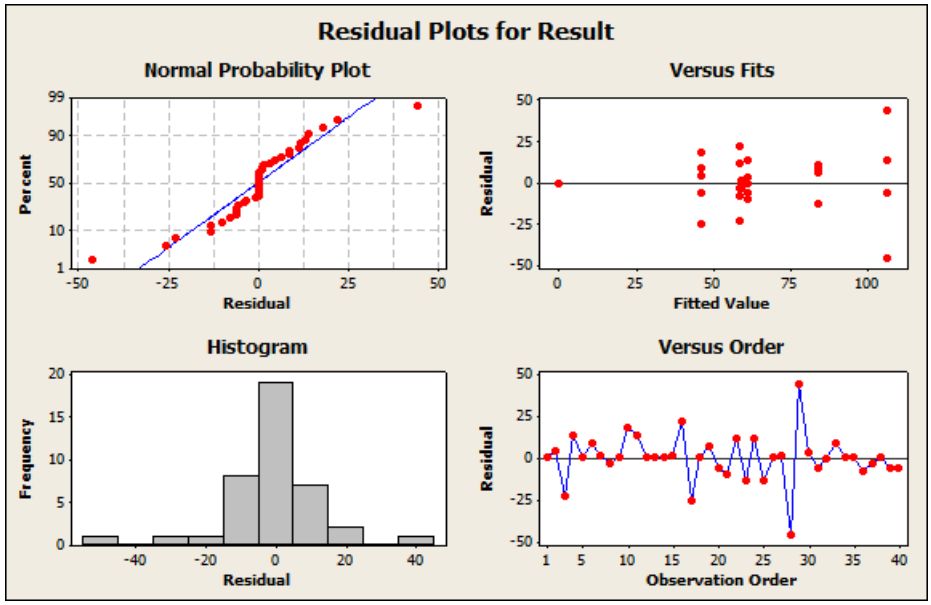
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Main Effects	3	37049.8	37049.8	12349.9	51.93
Die dep	1	26661.7	26661.7	26661.7	112.10
Heat temp	1	10345.9	10345.9	10345.9	43.50
Blowing pressure	1	42.2	42.2	42.2	0.18
2-Way Interactions	3	6775.6	6775.6	2258.5	9.50
Die dep*Heat temp	1	4026.0	4026.0	4026.0	16.93
Die dep*Blowing pressure	1	683.1	683.1	683.1	2.87
Heat temp*Blowing pressure	1	2066.4	2066.4	2066.4	8.69
3-Way Interactions	1	4237.4	4237.4	4237.4	17.82
Die dep*Heat temp*Blowing pressure	1	4237.4	4237.4	4237.4	17.82
Residual Error	32	7610.8	7610.8	237.8	
Pure Error	32	7610.8	7610.8	237.8	
Total	39	55673.6			

Source	P
Main Effects	0.000
Die dep	0.000
Heat temp	0.000
Blowing pressure	0.676
2-Way Interactions	0.000

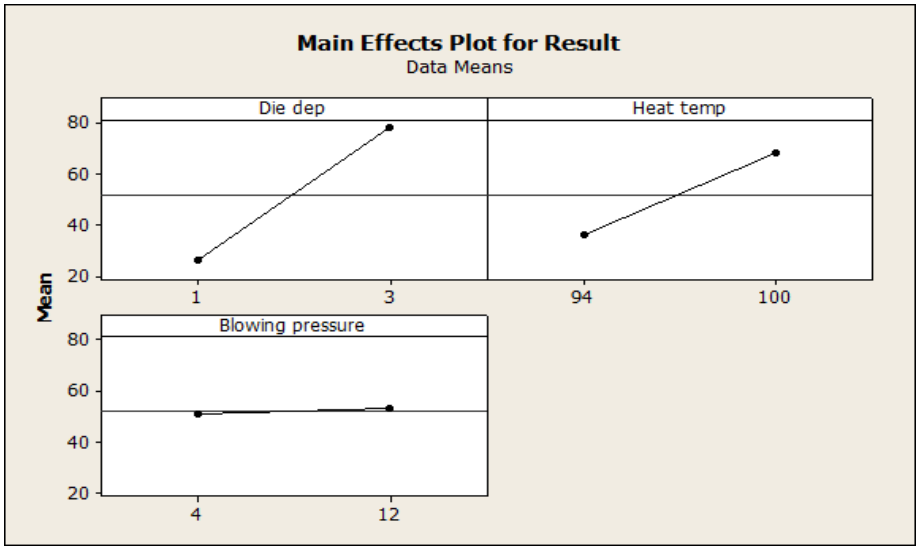
ภาพที่ 15 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ทดลองแบบ 2^k ของ 3 ปัจจัย

ด้วย 2 ปัจจัยคือ ปัจจัยที่1 ความลึกของแม่พิมพ์ และ ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล) โดยที่แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI) มีค่า P value อยู่ที่ 0.676 ซึ่งไม่มีอิทธิพลต่อ การเกิดของเสียจากกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ ความมีอิทธิพลของปัจจัยดังที่กล่าวมาสามารถแสดงเป็นกราฟของการวิเคราะห์อิทธิพลหลัก(Main Effect) และปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Interaction Plot) ดังภาพที่ 16 และ 17 โดยถ้ากราฟมีความชันระหว่างระดับปัจจัยอย่าเห็นได้ชัด นั้นแสดงว่าการเปลี่ยน แปลงของระดับปัจจัยมีผลต่อค่าตอบสนอง หรือในที่นี้คือปริมาณของเสียนั่นเอง โดยกรณีศึกษานี้ต้องการให้มีระดับของ ค่าตองสนองอยู่ในระดับต่ำ โดยเมื่อพิจารณาจาก การวิเคราะห์อิทธิพลหลัก(Main Effect) พบว่าที่ระดับความลึกของแม่พิมพ์น้อย และอุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้

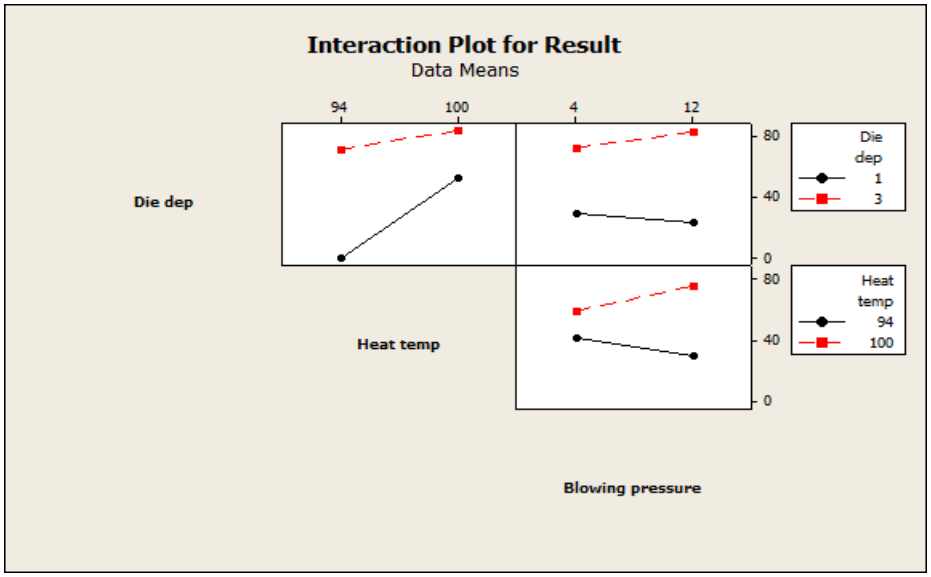
ปริมาณของเสียน้อยกว่าที่ระดับสูง ซึ่งค่าของระดับปัจจัยที่ดีที่สุดที่ทำให้ปริมาณของเสียน้อยที่สุดนั้น ถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยการหาสภาวะที่เหมาะสมในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 16 แผนภูมิแสดงผล การกระจายตัวของส่วนตกค้าง ความเป็นอิสระ ของส่วนตกค้างจากการทดลองครั้งที่ 2



ภาพที่ 17 แผนภูมิแสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อของเสียที่เกิดขึ้นที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 จากการทดลองครั้งที่ 2



ภาพที่ 18 แผนภูมิแสดงปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม ที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 จากการทดลองครั้งที่ 2

1.2 การหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการทดลองข้างต้น ทำการหาสภาวะ ที่เหมาะสมโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป Minitab เลือก ฟังชั่น Response optimization และกำหนดค่าตอบสนองที่ต้องการเป็นศูนย์ (Target) y =0 เลือกเป้าหมาย (Gold) เป็น Minimum และ ค่าสูงสุดของค่าตอบสนองที่ยอมรับได้ เป็น 5 โดยผลการประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab แสดงผลค่าของระดับปัจจัย 3 ปัจจัยที่ทำให้ผลตอบสนองหรือของเสียน้อยที่สุด ดังภาพที่ 19 และ 20 โดยระดับของปัจจัยที่สภาวะที่ดีที่สุดสรุปดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมผลตอบสนองต่อของเสียที่น้อยที่สุด

ลำดับ	ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม
1	ความลึกของแม่พิมพ์ (ระดับ)	ระดับที่ 1 (25 มม.)
2	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	94
3	แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI)	11.75

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Result	Minimum	0	0	5	1	1

Global Solution

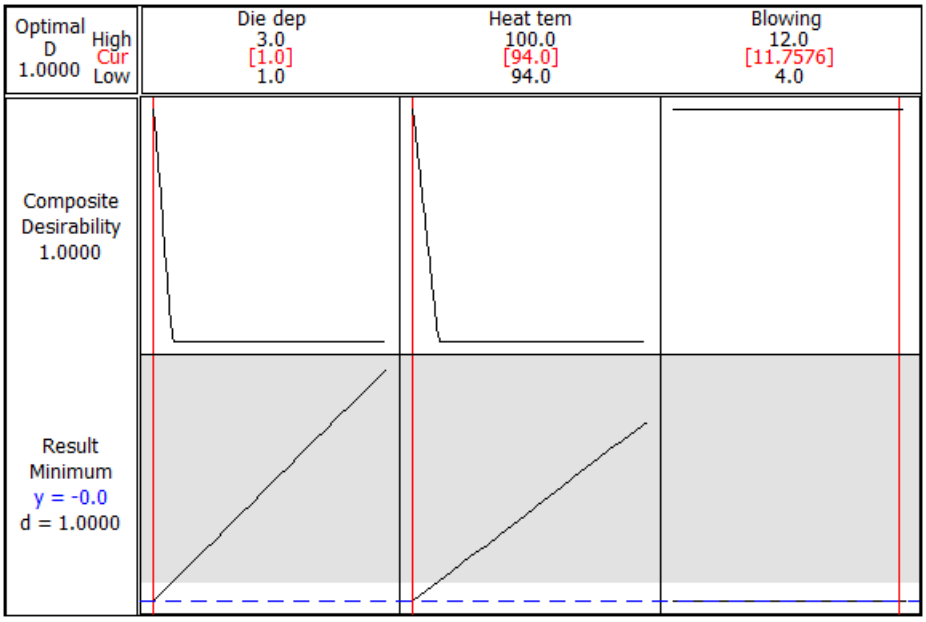
Die dep = 1
Heat temp = 94
Blowing pres = 11.7576

Predicted Responses

Result = -0.0000000 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

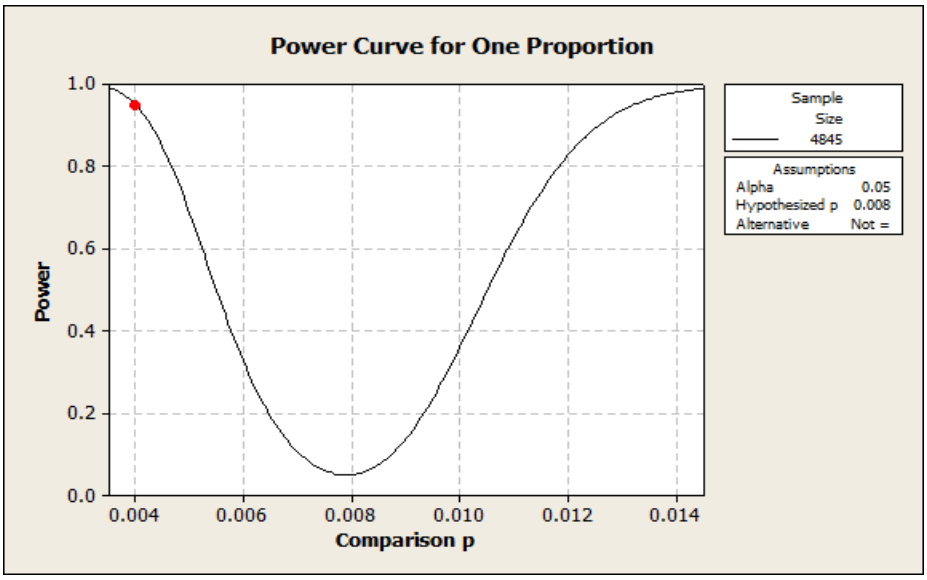
ภาพที่ 19 แสดงผลการวิเคราะห์ ค่าสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม ที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Minitab



ภาพที่ 20 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์สำหรับค่าตอบสนองที่ต่ำสุด ของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม ที่กลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทที่ 2

ทำการทดสอบค่าตั้งเครื่องจาก สภาวะที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อกำหนดจำนวนการทดสอบ โดยกำหนด Power and Sample size ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ 4,845 ชิ้น

ตั้งค่าเครื่องจักร ตามค่าสภาวะที่เหมาะสม และตรวจสอบชิ้นงาน ซึ่งพบว่าผลบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดชิ้น 4,845 ชิ้น ไม่พบของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกิน และไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียงให้เกิดของเสียประเภทอื่นเพิ่มขึ้น โดยพิสูจน์ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณสมบัติสำคัญทางคุณภาพ ในหัวข้อถัดไป



ภาพที่ 21 แผนภูมิแสดงการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบข้อมูลที่ระดับ α ที่ 0.05

Power Curve for One Proportion

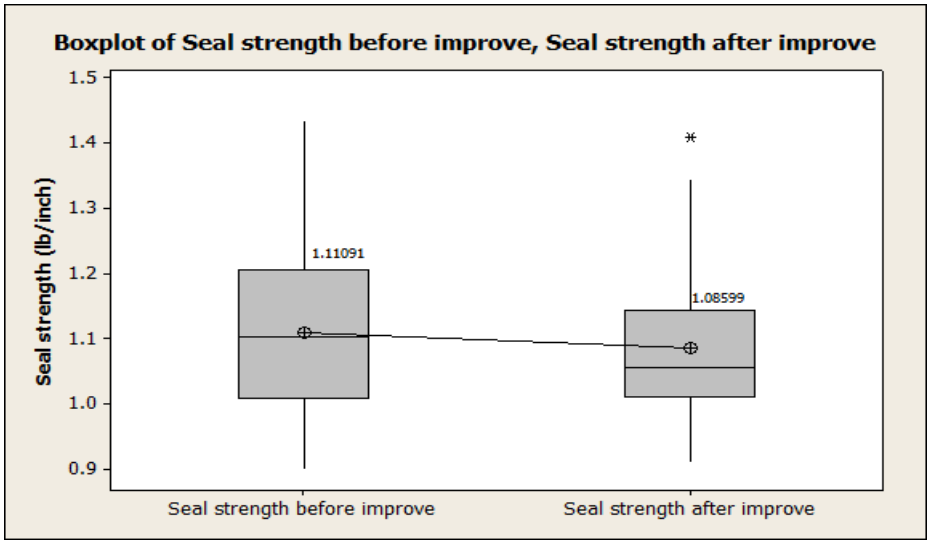
Power and Sample Size

```
Test for One Proportion

Testing p = 0.008 (versus not = 0.008)
Alpha = 0.05


                Sample  Target
Comparison p      Size   Power  Actual Power
       0.004      4845    0.95      0.950001
```

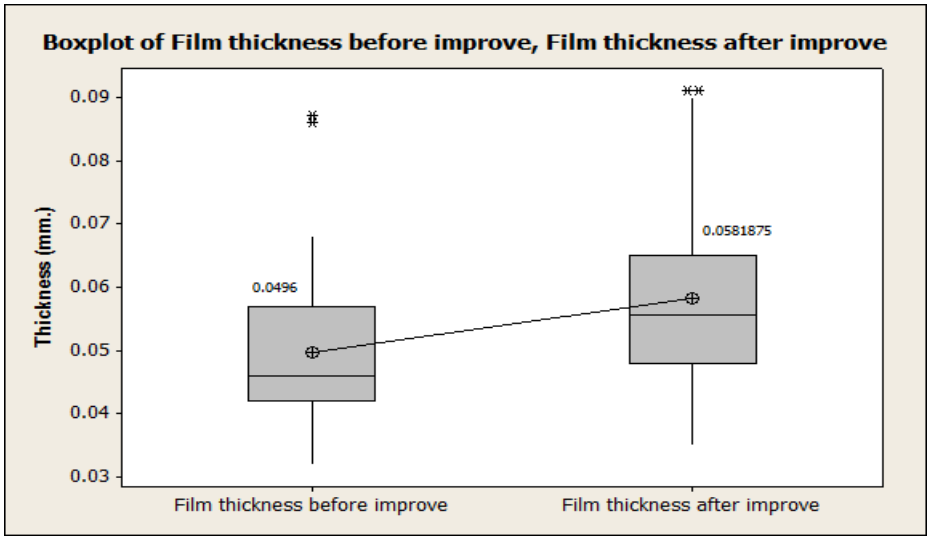
ภาพที่ 22 แสดงการวิเคราะห์อำนาจการทดสอบข้อมูลที่ระดับ α ที่ 0.05

1.3 การเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุง

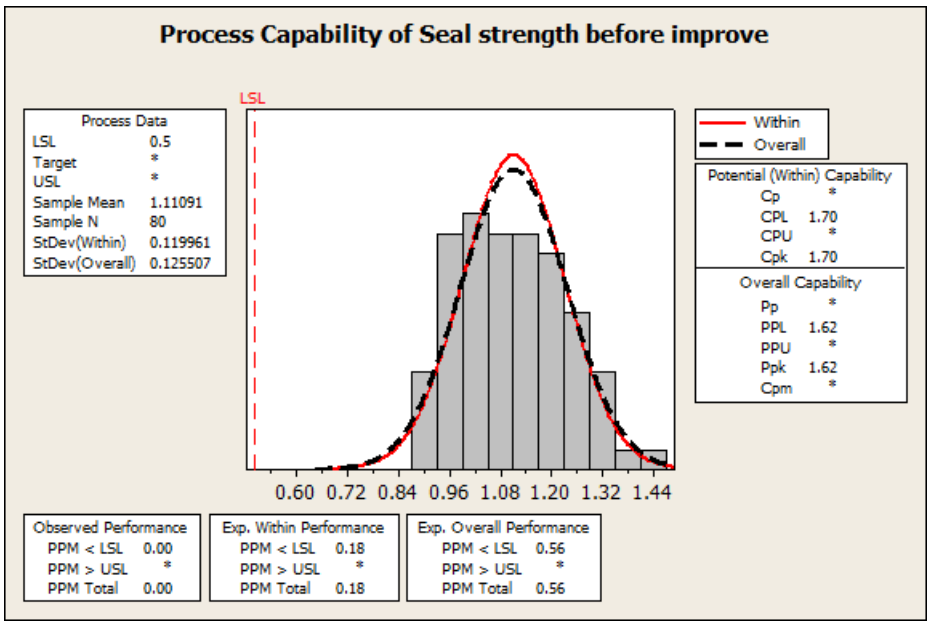
เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าค่าตั้งเครื่องจักรที่หาได้ดังตารางที่ 11 ไม่ก่อให้ปัญหาผลข้างเคียงด้านอื่น ลักษณะทางคุณภาพด้านอื่น ที่สำคัญ อันได้แก่ ความแข็งแรงของปิดผนึก ความหนาของฟิล์ม ถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบก่อนและการปรับปรุง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าผลของความแข็งแรงของปิดผนึก ความหนาของฟิล์ม อยู่ในมาตรฐานที่ยอมรับ ดังแสดงให้เห็นตามภาพที่ 23-28



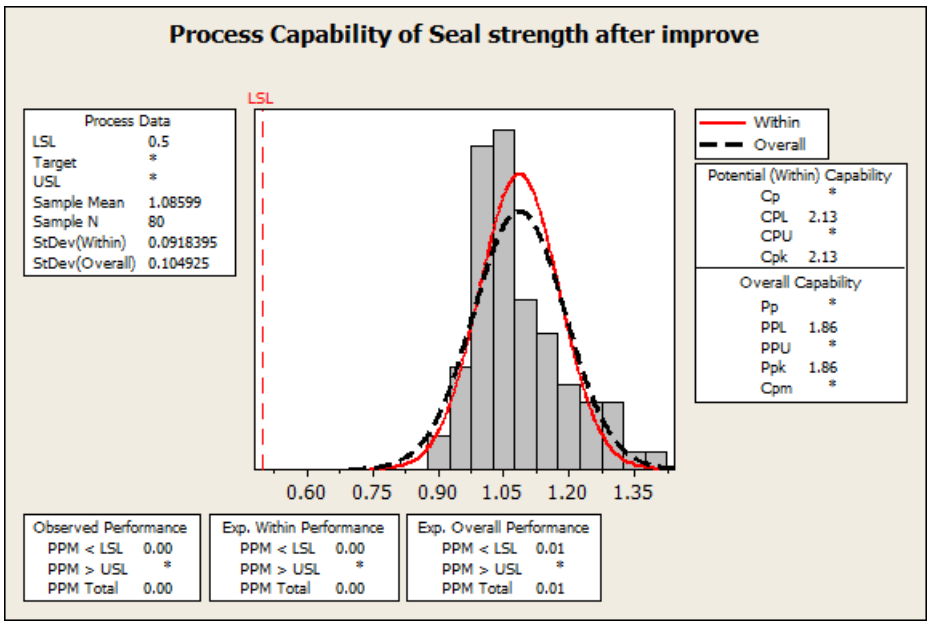
ภาพที่ 23 แผนภูมิแสดงความแข็งแรงของปิดผนึกก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ



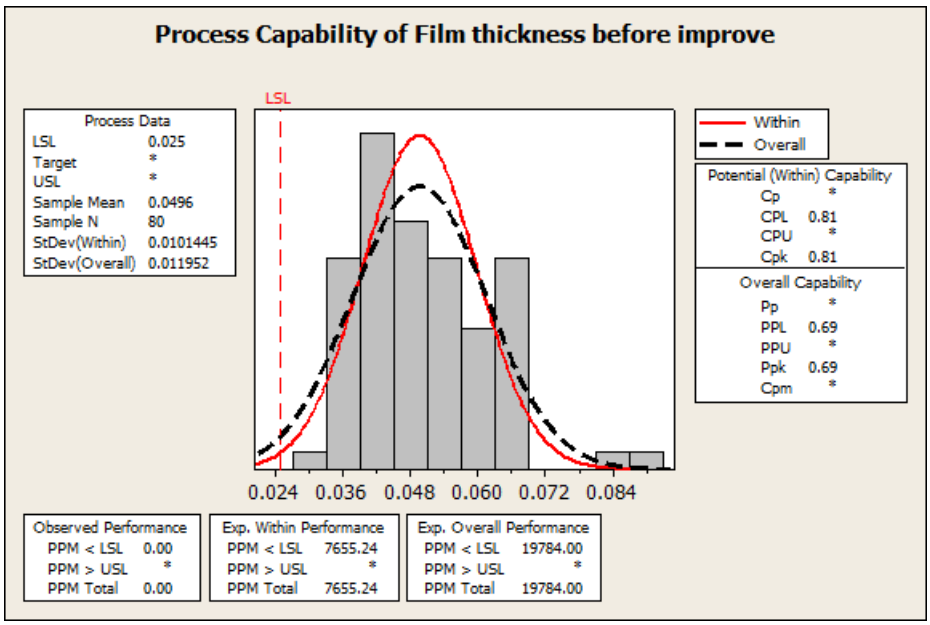
ภาพที่ 24 แผนภูมิแสดงความหนาของ ฟิล์มก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ



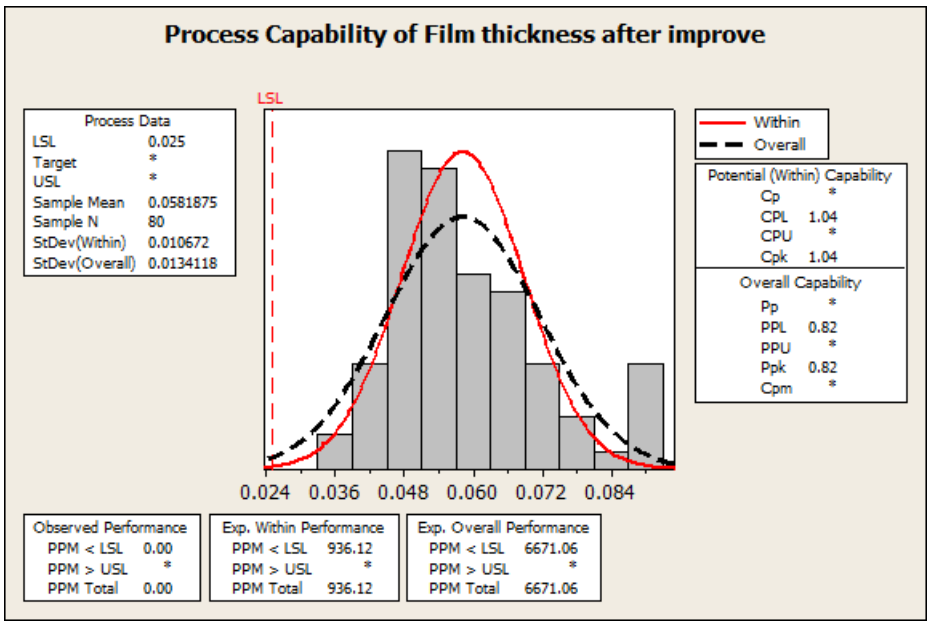
ภาพที่ 25 แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับแข็งแรงของปิดผนึกก่อนการปรับปรุงกระบวนการ



ภาพที่ 26 แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับแข็งแรงของปิดผนึกหลังการปรับปรุงกระบวนการ



ภาพที่ 27 แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับความหนาของ ฟิล์มก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ



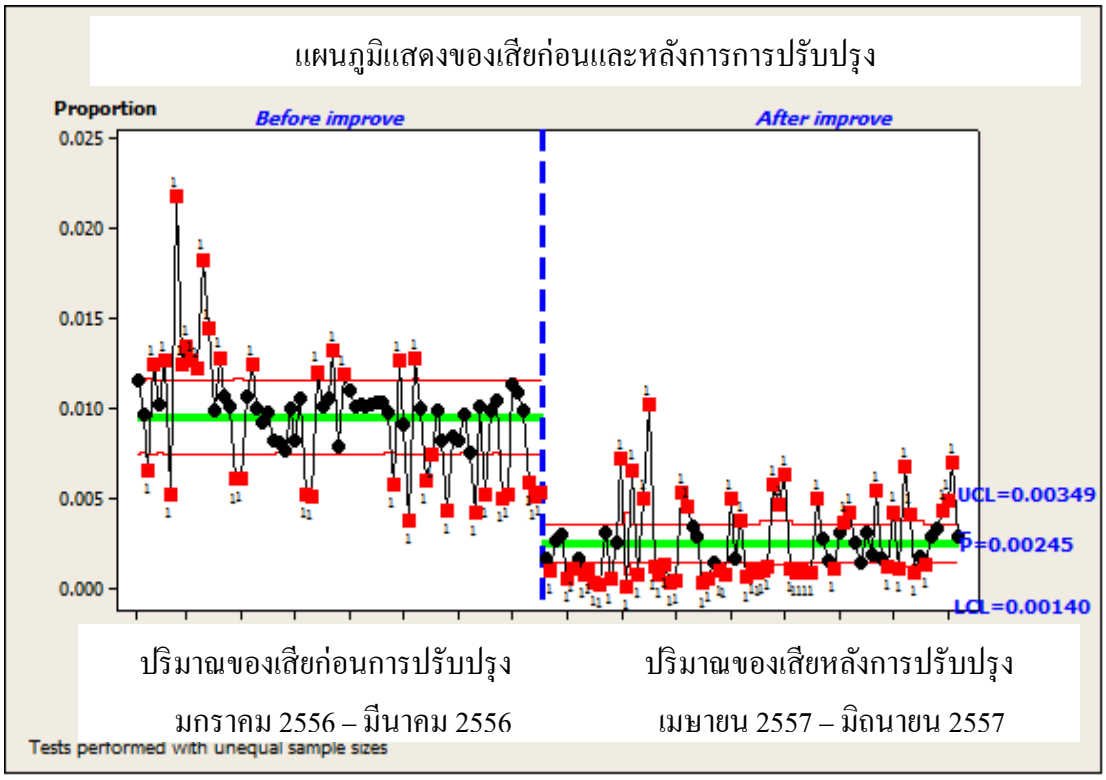
ภาพที่ 28 แผนภูมิแสดงความสามารถของกระบวนการสำหรับความหนาของ ฟิล์มหลังการปรับปรุงกระบวนการ

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ในช่วงเดือน เมษายน - มิถุนายน 2557

ลำดับที่	ยอดการผลิต	498,540	491,810	489,180	รวม1,479,530	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น DPPM
	ประเภทของเสียที่เกิดในกระบวนการบรรจุ	เมษายน 2556	พฤษภาคม 2556	มิถุนายน 2556	จำนวนรวม 3 เดือน		
1	จำนวนถุงที่ต้องทิ้งจากซ่อมเครื่องและตั้งเครื่องจักร	456	578	509	1543	0.104%	1,042.90
2	ฟิล์มส่วนเกินถูกซีลเป็นรอย	1,063	1,104	1,453	3,620	0.245%	2,446.72
3	กระดาษฉีกขาด	402	432	234	1,068	0.072%	721.85
4	ตัวหนังสือพิมพ์ไม่ติด	143	132	93	368	0.025%	248.73
5	ตัวหนังสือพิมพ์เลอะเลือน	132	354	211	697	0.047%	471.10
6	หมายเลขลอตการผลิตจางหรือลบเลือน	231	108	112	451	0.030%	304.83

ตารางที่ 12 แสดงปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์ในช่วงเดือน เมษายน - มิถุนายน 2557 (ต่อ)

ลำดับที่	ยอดการผลิต	498,540	491,810	489,180	รวม1,479,530	เปอร์เซ็นต์	คิดเป็น DPPM
	ประเภทของเสียที่เกิดในกระบวนการบรรจุ	เมษายน 2556	พฤษภาคม 2556	มิถุนายน 2556	จำนวนรวม 3 เดือน		
7	การสั่งพิมพ์หมายเลขลอตซ้อนทับ	435	406	345	1,186	0.080%	801.61
8	การปิดผนึกไม่สมบูรณ์	789	675	456	1,920	0.130%	1,297.71
9	ถุงบรรจุตัดไม่ตรง	456	453	435	1,344	0.091%	908.40
10	ความลึกของการขึ้นรูปไม่พอ	604	654	654	1,912	0.129%	1,292.30
11	จุดด่างจุดเปื้อนบนแผ่นฟิล์ม	324	324	213	861	0.058%	581.94



ภาพที่ 29 แผนภูมิควบคุมแสดงปริมาณของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ ก่อนการปรับปรุงตั้งแต่เดือน มกราคม 2556 – มีนาคม 2556 และ หลังการปรับปรุงกระบวนการ เมษายน 2557 – มิถุนายน 2557

2. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ก่อนการดำเนินงานวิจัย พบว่ามีของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินบนบรรจุภัณฑ์ 20,634 ชิ้น ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555 ทั้งหมด 14 เดือน พบว่ามีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเกิดของเสีย ได้แก่

2.1 ค่าวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นของเสียคิดเป็น 1.65 บาทต่อชิ้น

2.2 ค่าวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องใช้ทดแทนบรรจุภัณฑ์ชิ้นเก่าคิดเป็นต่อหน่วยชิ้นละ 1.65 บาทต่อชิ้น

2.3 ค่าแรงที่เกิดจากการบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อแก้ไขของเสีย และการตรวจสอบคิดเป็นค่าแรงต่อชิ้น คือ 3.14 บาท ต่อชิ้น

จากประวัติตั้งแต่เดือนตุลาคม 2554 จนถึง เดือนกันยายน 2555 ทั้งหมด 14 เดือน คิดเป็นของเสียเฉลี่ยต่อเดือน 1,474 ชิ้นต่อเดือน

ดังนั้นความสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อเดือนจากของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกิน คิดเป็นของเสียเฉลี่ยต่อเดือน x ค่าวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์ที่เป็นของเสีย x ค่าวัตถุดิบของบรรจุภัณฑ์ที่ต้องใช้ทดแทน x ค่าแรงที่เกิดจากการบรรจุผลิตภัณฑ์เพื่อแก้ไขของเสีย

= 1,474 x 1.65 x 1.65 x 3.14 บาท ต่อเดือน

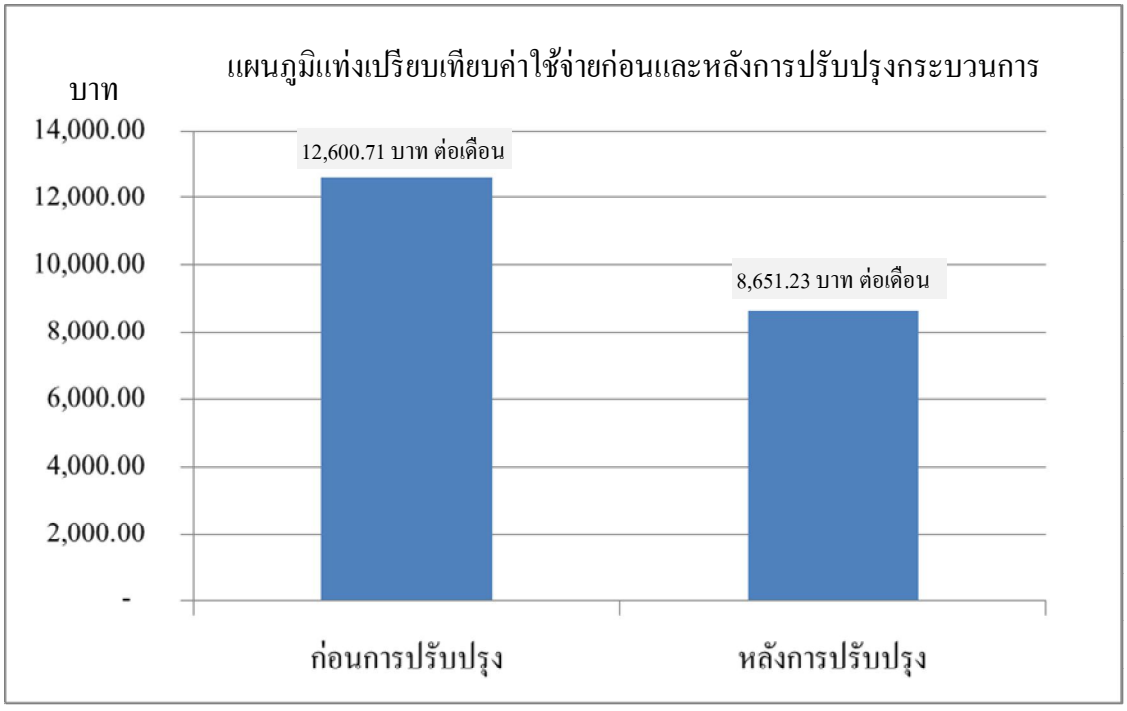
= 12,600.71 บาท ต่อเดือน

หลังการดำเนินงานวิจัย พบว่ามีของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินบนบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยอยู่ที่ 1,012 ชิ้น ต่อเดือน ดังนั้นค่าใช้จ่ายหลังการปรับปรุงกระบวนการคือ

= 1,012 x 1.65 x 1.65 x 3.14 บาท ต่อเดือน

= 8,651.23 บาท ต่อเดือน

พบว่ามีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเกิดของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินบนบรรจุภัณฑ์ลดลง 3,949.48 บาท ต่อเดือน คิดเป็น 31.34% ของค่าใช้จ่ายจากเดิม หรือ 47,393.76 บาท ต่อปี



ภาพที่ 30 แผนภูมิแท่งเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินที่เกิดขึ้นกับบรรจุก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

3. สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูล โดยอาศัยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติและเปรียบ เทียบค่า สภาวะปัจจุบันและค่าที่เหมาะสมใหม่ เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าสภาวะปัจจุบันและค่าที่เหมาะสมใหม่ โดยพิจารณาจากปริมาณของเสียก่อนและหลังทำการทดลองโดยการนำค่าที่ได้จากการทดลองไปใช้และเก็บประวัติ เป็นระยะเวลา 3 เดือน คือ เดือนเมษายน พฤษภาคม และ มิถุนายน พบว่าปริมาณของเสียของเสียบรรภัณฑ์ประเภทที่เกิดรอยซีล(ส่วนเกิน)เป็นรอยยาว มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.24 % หรือ 2,446 DPPM จึงสรุปว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองหลังนำไปใช้และเก็บข้อมูลสามเดือนสามารถลดปัญหา ได้จากเดิมคือ 8,807 DPPM ลดลงอยู่ที่ 2,446 DPPM และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเกิดของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินบนบรรจุภัณฑ์ลดลง 3,949.48 บาท ต่อเดือน คิดเป็น 31.34% ของค่าใช้จ่ายจากเดิม หรือ 47,393.76 บาท ต่อปี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการปิดผนึกถุงบรรจุภัณฑ์ เพื่อต้องการลดของเสียประเภท รอยซีลซ้ำ และหาจุดเหมาะสมที่สุดของการปรับระดับปัจจัยเพื่อนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการผลิต จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมวิเคราะห์ผลตัวแปรตอบสนอง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย

1.1 ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของชุดให้น้ำเกลือปัจจัยต่างๆ ได้ถูกนำ มาวิเคราะห์โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลซึ่งทำาให้เราสามารถแยกแยะปัจจัยต่างๆ ออกได้เป็น ปัจจัยที่น่าจะมีผลทำให้เกิดรอยซีลซ้ำมี 5 ปัจจัย คือ ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการให้ความร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์

1.2 ปัจจัยทั้ง 5 ข้างต้น ได้ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล 3^k ซึ่งทำการทดลองโดยใช้ 3 ระดับของแต่ละปัจจัยและใช้การทำซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำตามตารางที่ 9 ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการวิเคราะห์เบื้องต้นที่ได้จากการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3^k พบว่ามี ปัจจัย 4 ปัจจัย มีค่า P value น้อยกว่า 0.05 คือ Die dept (ความลึกของแม่พิมพ์) Heat temperature (อุณหภูมิ) Pressure Blowing (แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม) Product size (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์)

แต่เนื่องจากพบค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ (R-square (adj)) มีค่าต่ำ ซึ่งอาจเกิดจากการทำการทดลองซ้ำที่ 2 ครั้ง นั้นไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ผลหรือ มีปัจจัยรบกวนในการทดลองมาก ดังนั้นจากผลการทดลองเบื้องต้นดังกล่าว ทำการทดลองซ้ำโดยใช้ โดยการใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full factorial 2^k โดยมีปัจจัยที่ทำการทดลองทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ Die dept (ความลึกของแม่พิมพ์) Heat temperature (อุณหภูมิ) Pressure Blowing (แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม) และ ใช้Product size (น้ำหนักของผลิตภัณฑ์)ขนาดเดียว คือกลุ่มที่ 2 โดยระดับของปัจจัยที่ทำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 13 และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ซึ่งจากผลการทดลองครั้งที่สอง พบว่ามีค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ(R-square (adj)) มีค่าอยู่ 83.34 % ซึ่งจากผลการทดลองครั้งที่ 2 ได้

นำไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมสำหรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อการทำงานปกติ โดยได้ผลการวิเคราะห์ค่าที่ดีที่สุดในการตั้งค่าเครื่องจักรแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ระดับของปัจจัยที่นำมาศึกษาผลตอบสนองต่อของเสีย

ลำดับ	ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัย	
		-1(Minimum)	+1(Maximum)
1	ความลึกของแม่พิมพ์ (ระดับ)	ระดับที่ 1 (25 มม.)	ระดับที่ 3 (45 มม.)
2	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	94	100
3	แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI)	4	12

ตารางที่ 14 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมผลตอบสนองต่อของเสียที่น้อยที่สุด

ลำดับ	ปัจจัยที่ทำการศึกษา	ระดับของปัจจัย
1	ความลึกของแม่พิมพ์ (ระดับ)	ระดับที่ 1 (25 มม.)
2	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียล)	94
3	แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม (PSI)	11.75
4	เวลาในการให้ความร้อน (วินาที)	1.5
5	น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ (กรัม)	กลุ่มที่ 2 (45.50 กรัม)

1.3 จากสภาวะที่เหมาะสม 1.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว ได้นำค่า ที่เหมาะ ใน ข้อ 1.3 ไปใช้ในการทำงานจริง และเก็บข้อมูล ในช่วงเวลา 3 เดือน คือตั้งแต่เดือน เมษายน- มิถุนายน 2556 พบว่า ของเสียประเภทรอยซีลซ้ำ มีค่าลดลงจากเดิม คือ จาก 0.88 % (8,807 DPPM) เหลือ 0.24 % เปอร์เซนต์ (2,446 DPPM) และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเกิดของเสียประเภทรอยซีลส่วนเกินบนบรรจุภัณฑ์ลดลง 3,949.48 บาท ต่อเดือน คิดเป็น 31.34% ของค่าใช้จ่ายจากเดิม หรือ 47,393.76 บาท ต่อปี ซึ่งได้ผลสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

2. ข้อจำกัดของการวิจัย

2.1 การดำเนินการทดลองใช้ทั้งหมด 5 เดือน ซึ่งอาจมีปัจจัยซ่อนที่เกิดขึ้นจากล็อตวัตถุดิบด้วยเช่นกัน แต่ทั้งนี้เป็นกระบวนการของทางผู้ผลิตวัตถุดิบ จึงไม่ได้มีการนำมาร่วมพิจารณา

2.2 ในการทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตค่าสูงและต่ำของปัจจัยทั้ง 5 ที่ได้ทำการศึกษาซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าค่าที่เหมาะสมของค่าตัวแปรอาจจะอยู่นอกขอบเขตที่ทำการศึกษา

2.3 การทดลองหาค่าที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องจักรได้มาจากการทดลองครั้งสอง ซึ่งเกิดจากการใช้กลุ่มผลิตภัณฑ์หมายเลข 2 ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตมากที่สุดเท่านั้น ไม่ครอบคลุมถึงกลุ่มถึงกลุ่มผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่ 1 และ 3

3. ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น

3.1 พนักงานที่ทำการตรวจสอบของเสีย ต้องทำการประเมินความสามารถในการตรวจสอบทุกๆ 6 เดือนเพื่อทำให้เกิดการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพหัวข้อในการตรวจสอบของเสีย

3.2 การประยุกต์ใช้ แผนการควบคุมของเสียโดยหลักสถิติ (SPC) เพื่อทำให้เกิดการติดตาม และแจ้งเตือนเมื่อมีปริมาณของเสียเกิดกว่าระดับการยอมรับได้ทางสถิติ จะทำให้สามารถแก้ไขปัญหา และลดเวลาในค้นหาสาเหตุของปัญหาได้

รายการอ้างอิง

[1] กันยรัตน์ คมวัชระ. (2547). "การนา Six Sigma มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการศึกษา." **ประกันคุณภาพ** 5, 1 (มกราคม – มิถุนายน): 20-33.

[2] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2544). **การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (PCA).** กรุงเทพฯ: ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[3] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2553). **การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA).** กรุงเทพฯ: ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] จักรวรรดิ ดียิ่ง. (2554). "การพัฒนาคุณภาพในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยแสงเลเซอร์ในโรงงานประกอบแขนจับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์." สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[5] ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์ และคณะ. (2546). **คู่มือปฏิบัติ Six Sigma เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์การ**. กรุงเทพฯ: เอ็กซเปอร์เน็ท.

[6] บุญชัย ปัญญาวิเศษพงศ์. (2551). "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพแนวเชื่อมของกระบวนการผลิตกระป๋อง." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[7] พงศ์ สกุลคนลานุวัฒน์. (2550). "การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคุณภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[8] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. (2548). **ปฏิวัติกระบวนการทางานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.

[9] วสันต์ พุกผาสุก. (2551). "การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่ากรณีศึกษา: บริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม." **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ** 18, 2 (พ.ค. - ส.ค.): 33-42.

[10] วิศณุ บุญจันทร์. (2548). "การปรับปรุงคุณภาพรอยถลอกรถกระบะในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยอาศัยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า." วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[11] สุมล มุสิกาญจน์. (2547). “การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกม่าในงานผลิตอุปกรณ์ใยแก้วนำแสง (กรณีศึกษาการเพิ่มผลได้ของกระบวนการ Wire Bonding โดยการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[12] โสภิดา ท้วมมี. (2550). “การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[13] พีรพันธ์ บางพาน.(2546). “การประเมินผลเครื่องแกะเมล็ดลำไยชนิดจานหมุนโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เชียงใหม่.

[14] ยงยุทธ ธนอัญญาพร. (2546). “กรณีศึกษาตัวแปรของกรรมวิธีการผลิตฝาปิดถังน้ำมันโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการขึ้นรูปโลหะ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.

[15] วิชาญ วรรณา. (2545). “ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสั้น สำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแท่งแบบต่อเนื่อง.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[16] วิรัช ชัยมธุรพงษ์. (2550). “การศึกษาผลกระทบด้านแรงดึงของรอยเชื่อมจากกระบวนการเชื่อมใต้ฟลั๊กซ์ที่นำฟลั๊กซ์เก่ามาใช้โดยวิธีการออกแบบการทดลอง.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

[17] สุเมธ กาฬภักดี. (2547). “การลดของเสียผ้าเหี่ยวเป็นลอนในกระบวนการรัดพลาสติกแผ่น.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

[18] เอกราช สินณรงค์. (2545). “การประยุกต์ใช้แนวทางการออกแบบการทดลองในการลดความเบี่ยงเบนของร่องกล่องกระดาษลูกฟูก.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ภาคผนวก

ผลการทดลอง

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
1	Min	Nominal	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
2	Max	Max	Min	Min	Max	500	14	2.80%
3	Nominal	Nominal	Min	Max	Max	500	2	0.40%
4	Max	Nominal	Min	Max	Max	500	12	2.40%
5	Max	Max	Max	Nominal	Max	500	12	2.40%
6	Min	Max	Nominal	Min	Max	500	1	0.20%
7	Min	Min	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
8	Min	Nominal	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
9	Min	Min	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
10	Min	Nominal	Max	Min	Min	500	0	0.00%
11	Min	Nominal	Max	Min	Max	500	2	0.40%
12	Max	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
13	Min	Min	Max	Max	Max	500	9	1.80%
14	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
15	Min	Max	Max	Min	Nominal	500	1	0.20%
16	Min	Min	Max	Min	Min	500	0	0.00%
17	Max	Min	Max	Min	Min	500	4	0.80%
18	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
19	Min	Min	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
20	Nominal	Max	Min	Max	Min	500	0	0.00%
21	Min	Nominal	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
22	Min	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
23	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
24	Nominal	Nominal	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
25	Max	Max	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
26	Nominal	Max	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
27	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
28	Max	Nominal	Max	Min	Min	500	0	0.00%
29	Max	Min	Max	Max	Max	500	13	2.60%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
30	Min	Min	Max	Max	Min	500	0	0.00%
31	Min	Min	Min	Min	Max	500	4	0.80%
32	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
33	Nominal	Nominal	Min	Max	Min	500	0	0.00%
34	Min	Max	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
35	Max	Nominal	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
36	Nominal	Min	Min	Min	Min	500	0	0.00%
37	Min	Max	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
38	Min	Nominal	Max	Max	Min	500	0	0.00%
39	Nominal	Max	Min	Min	Min	500	0	0.00%
40	Min	Max	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
41	Max	Min	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
42	Max	Min	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
43	Min	Min	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
44	Min	Max	Nominal	Min	Max	500	1	0.20%
45	Min	Min	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
46	Max	Min	Min	Max	Max	500	15	3.00%
47	Min	Nominal	Min	Max	Min	500	0	0.00%
48	Min	Min	Max	Min	Max	500	5	1.00%
49	Max	Max	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
50	Nominal	Min	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
51	Max	Nominal	Min	Min	Max	500	15	3.00%
52	Nominal	Nominal	Max	Min	Max	500	1	0.20%
53	Max	Min	Min	Min	Max	500	12	2.40%
54	Nominal	Max	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
55	Max	Nominal	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
56	Max	Min	Nominal	Min	Max	500	14	2.80%
57	Nominal	Max	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
58	Max	Min	Min	Min	Min	500	6	1.20%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
59	Nominal	Nominal	Min	Min	Max	500	2	0.40%
60	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
61	Nominal	Max	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
62	Nominal	Min	Min	Max	Min	500	0	0.00%
63	Min	Nominal	Max	Max	Max	500	2	0.40%
64	Max	Nominal	Min	Min	Min	500	0	0.00%
65	Nominal	Nominal	Min	Min	Min	500	0	0.00%
66	Max	Min	Nominal	Nominal	Max	500	13	2.60%
67	Min	Max	Max	Max	Min	500	0	0.00%
68	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Max	500	5	1.00%
69	Max	Min	Min	Nominal	Max	500	13	2.60%
70	Min	Max	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
71	Nominal	Min	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
72	Max	Nominal	Max	Nominal	Max	500	12	2.40%
73	Min	Max	Nominal	Nominal	Min	500	1	0.20%
74	Nominal	Min	Nominal	Max	Max	500	9	1.80%
75	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Max	500	1	0.20%
76	Nominal	Nominal	Max	Min	Min	500	0	0.00%
77	Min	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
78	Nominal	Min	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
79	Max	Nominal	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
80	Nominal	Max	Nominal	Max	Max	500	1	0.20%
81	Min	Min	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
82	Min	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
83	Nominal	Min	Nominal	Min	Max	500	6	1.20%
84	Nominal	Max	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
85	Max	Min	Max	Min	Max	500	17	3.40%
86	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
87	Max	Max	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
88	Max	Min	Max	Nominal	Min	500	5	1.00%
89	Min	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
90	Min	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
91	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Max	500	2	0.40%
92	Max	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
93	Min	Min	Nominal	Max	Max	500	6	1.20%
94	Nominal	Max	Nominal	Max	Max	500	1	0.20%
95	Nominal	Max	Max	Nominal	Max	500	1	0.20%
96	Nominal	Min	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
97	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
98	Min	Max	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
99	Max	Nominal	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
100	Nominal	Max	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
101	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
102	Max	Min	Max	Max	Min	500	2	0.40%
103	Min	Max	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
104	Nominal	Min	Max	Min	Max	500	8	1.60%
105	Min	Max	Max	Min	Max	500	1	0.20%
106	Max	Max	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
107	Min	Nominal	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
108	Min	Nominal	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
109	Min	Max	Nominal	Nominal	Max	500	1	0.20%
110	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Max	500	2	0.40%
111	Max	Nominal	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
112	Max	Max	Max	Max	Min	500	3	0.60%
113	Min	Max	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
114	Min	Min	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
115	Max	Max	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
116	Max	Min	Max	Max	Min	500	3	0.60%
117	Nominal	Min	Max	Nominal	Max	500	7	1.40%
118	Min	Nominal	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
119	Nominal	Min	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
120	Min	Nominal	Max	Min	Min	500	0	0.00%
121	Min	Max	Min	Nominal	Max	500	1	0.20%
122	Max	Max	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
123	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
124	Min	Max	Max	Max	Nominal	500	1	0.20%
125	Max	Min	Min	Max	Min	500	4	0.80%
126	Max	Max	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
127	Min	Nominal	Nominal	Max	Max	500	1	0.20%
128	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
129	Min	Min	Nominal	Min	Max	500	9	1.80%
130	Max	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
131	Nominal	Min	Max	Min	Min	500	0	0.00%
132	Min	Min	Min	Min	Min	500	0	0.00%
133	Nominal	Max	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
134	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
135	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Max	500	2	0.40%
136	Max	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
137	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Max	500	3	0.60%
138	Min	Max	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
139	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
140	Min	Max	Min	Max	Nominal	500	1	0.20%
141	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500	4	0.80%
142	Max	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
143	Min	Max	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
144	Min	Min	Nominal	Min	Max	500	8	1.60%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
145	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
146	Min	Nominal	Min	Min	Max	500	2	0.40%
147	Max	Min	Nominal	Min	Min	500	5	1.00%
148	Max	Min	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
149	Max	Max	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
150	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
151	Nominal	Max	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
152	Nominal	Min	Min	Max	Max	500	8	1.60%
153	Max	Min	Min	Max	Min	500	7	1.40%
154	Max	Max	Min	Nominal	Max	500	15	3.00%
155	Nominal	Min	Min	Nominal	Max	500	9	1.80%
156	Nominal	Min	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
157	Max	Nominal	Max	Max	Min	500	0	0.00%
158	Nominal	Max	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
159	Min	Max	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
160	Nominal	Min	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
161	Max	Max	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
162	Nominal	Min	Nominal	Max	Max	500	4	0.80%
163	Min	Max	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
164	Nominal	Min	Min	Max	Max	500	6	1.20%
165	Max	Nominal	Max	Min	Max	500	16	3.20%
166	Max	Nominal	Nominal	Max	Max	500	14	2.80%
167	Nominal	Min	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
168	Nominal	Max	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
169	Min	Nominal	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
170	Nominal	Min	Min	Min	Min	500	0	0.00%
171	Max	Min	Min	Nominal	Min	500	8	1.60%
172	Min	Min	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
173	Nominal	Min	Min	Min	Max	500	7	1.40%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
174	Nominal	Nominal	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
175	Min	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
176	Min	Max	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
177	Max	Max	Min	Nominal	Max	500	12	2.40%
178	Min	Max	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
179	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500	0	0.00%
180	Nominal	Min	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
181	Max	Max	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
182	Nominal	Max	Max	Max	Min	500	0	0.00%
183	Nominal	Min	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
184	Max	Max	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
185	Max	Max	Nominal	Min	Max	500	13	2.60%
186	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
187	Max	Min	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
188	Nominal	Max	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
189	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
190	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
191	Min	Min	Min	Nominal	Max	500	5	1.00%
192	Nominal	Max	Min	Max	Min	500	0	0.00%
193	Max	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
194	Max	Nominal	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
195	Max	Min	Max	Min	Min	500	6	1.20%
196	Max	Max	Nominal	Min	Max	500	11	2.20%
197	Nominal	Max	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
198	Min	Min	Max	Max	Min	500	0	0.00%
199	Max	Min	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
200	Min	Nominal	Min	Min	Max	500	0	0.00%
201	Max	Nominal	Min	Nominal	Max	500	10	2.00%
202	Nominal	Nominal	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
203	Nominal	Nominal	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
204	Min	Min	Nominal	Nominal	Max	500	7	1.40%
205	Max	Max	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
206	Nominal	Min	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
207	Nominal	Max	Max	Min	Min	500	0	0.00%
208	Min	Nominal	Min	Nominal	Max	500	0	0.00%
209	Max	Min	Min	Max	Max	500	14	2.80%
210	Nominal	Min	Nominal	Min	Max	500	5	1.00%
211	Nominal	Nominal	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
212	Max	Min	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
213	Max	Min	Min	Min	Min	500	7	1.40%
214	Max	Min	Nominal	Max	Min	500	8	1.60%
215	Max	Min	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
216	Max	Min	Max	Min	Max	500	17	3.40%
217	Max	Nominal	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
218	Min	Max	Nominal	Max	Min	500	1	0.20%
219	Max	Nominal	Max	Max	Max	500	10	2.00%
220	Max	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
221	Max	Nominal	Max	Min	Min	500	0	0.00%
222	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
223	Min	Nominal	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
224	Nominal	Nominal	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
225	Min	Min	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
226	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500	10	2.00%
227	Min	Max	Min	Max	Min	500	0	0.00%
228	Nominal	Max	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
229	Nominal	Nominal	Min	Min	Min	500	0	0.00%
230	Nominal	Min	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
231	Max	Max	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
232	Min	Min	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
233	Nominal	Nominal	Max	Max	Min	500	0	0.00%
234	Min	Max	Min	Min	Max	500	0	0.00%
235	Min	Min	Nominal	Max	Max	500	6	1.20%
236	Min	Min	Max	Nominal	Max	500	8	1.60%
237	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
238	Min	Max	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
239	Max	Max	Min	Min	Max	500	10	2.00%
240	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
241	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
242	Min	Min	Nominal	Nominal	Max	500	7	1.40%
243	Min	Max	Max	Min	Min	500	1	0.20%
244	Max	Nominal	Nominal	Max	Max	500	15	3.00%
245	Nominal	Min	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
246	Nominal	Min	Max	Max	Min	500	0	0.00%
247	Max	Max	Min	Max	Max	500	14	2.80%
248	Nominal	Min	Max	Nominal	Max	500	9	1.80%
249	Min	Max	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
250	Max	Max	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
251	Min	Max	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
252	Max	Max	Nominal	Nominal	Max	500	14	2.80%
253	Max	Max	Max	Max	Max	500	21	4.20%
254	Nominal	Min	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
255	Max	Max	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
256	Max	Min	Nominal	Nominal	Min	500	6	1.20%
257	Min	Nominal	Nominal	Max	Max	500	0	0.00%
258	Min	Max	Nominal	Max	Max	500	1	0.20%
259	Min	Nominal	Max	Min	Max	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
260	Max	Min	Nominal	Max	Min	500	4	0.80%
261	Nominal	Min	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
262	Min	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
263	Min	Min	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
264	Max	Nominal	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
265	Min	Min	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
266	Max	Nominal	Max	Nominal	Max	500	22	4.40%
267	Min	Nominal	Min	Max	Max	500	0	0.00%
268	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500	24	4.80%
269	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
270	Max	Min	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
271	Min	Nominal	Min	Max	Min	500	0	0.00%
272	Nominal	Max	Nominal	Min	Max	500	4	0.80%
273	Min	Nominal	Max	Max	Min	500	0	0.00%
274	Min	Min	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
275	Min	Max	Min	Nominal	Max	500	0	0.00%
276	Max	Nominal	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
277	Nominal	Max	Min	Min	Min	500	0	0.00%
278	Min	Max	Min	Min	Max	500	0	0.00%
279	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
280	Max	Max	Min	Min	Min	500	0	0.00%
281	Min	Nominal	Min	Min	Min	500	0	0.00%
282	Max	Max	Min	Max	Min	500	0	0.00%
283	Max	Min	Nominal	Nominal	Max	500	15	3.00%
284	Min	Min	Min	Max	Max	500	9	1.80%
285	Nominal	Nominal	Max	Max	Max	500	3	0.60%
286	Min	Max	Min	Nominal	Min	500	1	0.20%
287	Max	Min	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
288	Min	Min	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
289	Nominal	Min	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
290	Nominal	Min	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
291	Max	Min	Min	Nominal	Min	500	5	1.00%
292	Max	Max	Max	Max	Max	500	14	2.80%
293	Nominal	Nominal	Max	Min	Min	500	0	0.00%
294	Max	Max	Nominal	Max	Max	500	13	2.60%
295	Nominal	Max	Nominal	Min	Max	500	5	1.00%
296	Max	Max	Max	Min	Min	500	0	0.00%
297	Nominal	Max	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
298	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
299	Nominal	Min	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
300	Nominal	Max	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
301	Min	Max	Max	Nominal	Max	500	0	0.00%
302	Max	Min	Nominal	Min	Max	500	16	3.20%
303	Nominal	Min	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
304	Max	Nominal	Min	Min	Max	500		0.00%
305	Nominal	Nominal	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
306	Min	Nominal	Max	Nominal	Max	500	0	0.00%
307	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
308	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
309	Nominal	Nominal	Max	Max	Min	500	0	0.00%
310	Min	Max	Max	Nominal	Max	500	1	0.20%
311	Min	Min	Min	Max	Min	500	0	0.00%
312	Min	Nominal	Nominal	Min	Max	500	0	0.00%
313	Max	Nominal	Nominal	Min	Max	500	0	0.00%
314	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
315	Max	Max	Nominal	Nominal	Max	500	12	2.40%
316	Max	Min	Nominal	Max	Max	500	14	2.80%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
317	Min	Nominal	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
318	Max	Max	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
319	Max	Min	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
320	Min	Max	Max	Min	Min	500	0	0.00%
321	Max	Max	Min	Max	Min	500	0	0.00%
322	Max	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
323	Nominal	Min	Max	Min	Max	500	7	1.40%
324	Max	Min	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
325	Nominal	Nominal	Min	Min	Max	500	1	0.20%
326	Min	Min	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
327	Max	Max	Max	Min	Max	500	17	3.40%
328	Nominal	Min	Min	Min	Max	500	8	1.60%
329	Min	Min	Nominal	Nominal	Min	500	0	0.00%
330	Min	Min	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
331	Min	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
332	Nominal	Max	Min	Min	Max	500	5	1.00%
333	Max	Min	Max	Nominal	Max	500	15	3.00%
334	Max	Max	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
335	Max	Nominal	Min	Max	Max	500	0	0.00%
336	Min	Max	Max	Max	Max	500	0	0.00%
337	Max	Min	Nominal	Max	Max	500	16	3.20%
338	Max	Nominal	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
339	Min	Nominal	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
340	Nominal	Min	Max	Max	Max	500	8	1.60%
341	Min	Min	Min	Min	Max	500	4	0.80%
342	Min	Max	Max	Max	Min	500	0	0.00%
343	Min	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
344	Min	Min	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
345	Min	Max	Max	Min	Max	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
346	Min	Max	Min	Nominal	Min	500	1	0.20%
347	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
348	Nominal	Max	Min	Max	Max	500	1	0.20%
349	Nominal	Nominal	Min	Max	Max	500	2	0.40%
350	Nominal	Max	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
351	Nominal	Max	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
352	Nominal	Max	Max	Max	Min	500	0	0.00%
353	Nominal	Max	Max	Max	Max	500	2	0.40%
354	Max	Max	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
355	Nominal	Max	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
356	Min	Nominal	Nominal	Min	Max	500	0	0.00%
357	Max	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
358	Min	Min	Min	Max	Max	500	5	1.00%
359	Min	Nominal	Min	Max	Max	500	0	0.00%
360	Nominal	Min	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
361	Max	Nominal	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
362	Nominal	Max	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
363	Max	Min	Max	Max	Max	500	13	2.60%
364	Max	Min	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
365	Max	Nominal	Max	Min	Max	500	4	0.80%
366	Min	Max	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
367	Max	Min	Min	Nominal	Max	500	12	2.40%
368	Min	Nominal	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
369	Nominal	Nominal	Min	Max	Min	500	0	0.00%
370	Max	Max	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
371	Max	Nominal	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
372	Min	Min	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
373	Min	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500	1	0.20%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
374	Nominal	Max	Max	Min	Max	500	2	0.40%
375	Min	Nominal	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
376	Max	Max	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
377	Max	Nominal	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
378	Min	Nominal	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
379	Min	Nominal	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
380	Max	Max	Max	Min	Max	500	15	3.00%
381	Max	Max	Max	Min	Min	500	0	0.00%
382	Max	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
383	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Max	500	2	0.40%
384	Nominal	Max	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
385	Nominal	Min	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
386	Nominal	Nominal	Max	Min	Max	500	4	0.80%
387	Min	Max	Min	Min	Min	500	0	0.00%
388	Max	Min	Max	Nominal	Min	500	3	0.60%
389	Min	Min	Min	Nominal	Max	500	2	0.40%
390	Nominal	Max	Min	Max	Max	500	1	0.20%
391	Max	Max	Min	Max	Max	500	12	2.40%
392	Min	Min	Min	Min	Min	500	0	0.00%
393	Max	Nominal	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
394	Min	Nominal	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
395	Min	Max	Min	Max	Min	500	0	0.00%
396	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Max	500	1	0.20%
397	Nominal	Min	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
398	Min	Max	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
399	Min	Min	Min	Max	Min	500	0	0.00%
400	Max	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
401	Min	Min	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
402	Min	Min	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิเวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
403	Min	Min	Max	Max	Max	500	3	0.60%
404	Nominal	Max	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
405	Max	Max	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
406	Min	Max	Nominal	Nominal	Min	500	1	0.20%
407	Max	Max	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
408	Nominal	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
409	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Max	500	1	0.20%
410	Max	Min	Min	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
411	Min	Min	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
412	Nominal	Max	Min	Min	Max	500	2	0.40%
413	Max	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
414	Min	Min	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
415	Nominal	Max	Max	Min	Min	500	0	0.00%
416	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Min	500	0	0.00%
417	Max	Nominal	Min	Min	Min	500	0	0.00%
418	Min	Nominal	Max	Nominal	Max	500	0	0.00%
419	Max	Max	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
420	Max	Max	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
421	Max	Max	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
422	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
423	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Max	500	7	1.40%
424	Nominal	Min	Max	Max	Max	500	8	1.60%
425	Min	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500	1	0.20%
426	Min	Nominal	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
427	Max	Max	Max	Nominal	Max	500	12	2.40%
428	Max	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
429	Nominal	Max	Nominal	Max	Nominal	500	0	0.00%
430	Min	Min	Max	Nominal	Max	500	8	1.60%
431	Max	Max	Nominal	Max	Max	500	13	2.60%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
432	Nominal	Nominal	Min	Nominal	Max	500	2	0.40%
433	Nominal	Nominal	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
434	Nominal	Min	Min	Nominal	Max	500	6	1.20%
435	Nominal	Nominal	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
436	Min	Nominal	Min	Min	Min	500	0	0.00%
437	Min	Max	Min	Min	Min	500	0	0.00%
438	Max	Min	Nominal	Nominal	Min	500	8	1.60%
439	Nominal	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500	2	0.40%
440	Nominal	Min	Max	Max	Min	500	0	0.00%
441	Min	Max	Min	Max	Max	500	0	0.00%
442	Max	Max	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
443	Max	Nominal	Min	Max	Min	500	0	0.00%
444	Max	Nominal	Nominal	Min	Max	500	0	0.00%
445	Min	Nominal	Min	Nominal	Max	500	0	0.00%
446	Max	Nominal	Nominal	Max	Min	500	0	0.00%
447	Nominal	Nominal	Max	Max	Max	500	1	0.20%
448	Max	Nominal	Min	Max	Min	500	0	0.00%
449	Nominal	Max	Max	Max	Nominal	500	0	0.00%
450	Nominal	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
451	Nominal	Max	Max	Nominal	Max	500	2	0.40%
452	Min	Nominal	Max	Max	Max	500	0	0.00%
453	Min	Nominal	Min	Max	Nominal	500	0	0.00%
454	Max	Max	Min	Min	Min	500	0	0.00%
455	Min	Nominal	Max	Min	Nominal	500	0	0.00%
456	Min	Min	Max	Min	Min	500	0	0.00%
457	Min	Min	Max	Min	Max	500	8	1.60%
458	Max	Nominal	Min	Nominal	Max	500	2	0.40%
459	Max	Nominal	Max	Max	Max	500	2	0.40%
460	Nominal	Max	Max	Max	Max	500	1	0.20%

ตารางที่ 15 ผลการทดลอง Full factorial 3^k ของ 5 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิ เวลาในการในการเป่าลมร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม และ ขนาดของผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

No.	ค่าตั้งเครื่องจักร					จำนวน	ของเสีย	% ของเสีย
	ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน	เวลาที่ใช้เป่าร้อน	แรงดันเป่าร้อน	ขนาดของผลิตภัณฑ์			
461	Min	Max	Min	Max	Max	500	0	0.00%
462	Nominal	Max	Max	Min	Max	500	3	0.60%
463	Max	Nominal	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
464	Min	Max	Nominal	Max	Max	500	0	0.00%
465	Min	Min	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
466	Min	Nominal	Nominal	Nominal	Max	500	0	0.00%
467	Nominal	Min	Min	Max	Min	500	0	0.00%
468	Min	Max	Max	Max	Max	500	0	0.00%
469	Min	Max	Nominal	Nominal	Max	500	1	0.20%
470	Max	Min	Min	Min	Max	500	14	2.80%
471	Max	Nominal	Max	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
472	Max	Nominal	Max	Max	Min	500	0	0.00%
473	Max	Min	Nominal	Min	Min	500	4	0.80%
474	Nominal	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
475	Min	Min	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
476	Max	Min	Max	Nominal	Max	500	15	3.00%
477	Nominal	Max	Nominal	Min	Min	500	0	0.00%
478	Min	Min	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
479	Max	Max	Nominal	Nominal	Nominal	500	0	0.00%
480	Nominal	Min	Max	Min	Min	500	0	0.00%
481	Nominal	Nominal	Nominal	Min	Nominal	500	0	0.00%
482	Max	Min	Min	Min	Nominal	500	0	0.00%
483	Nominal	Max	Nominal	Nominal	Max	500	3	0.60%
484	Nominal	Nominal	Max	Nominal	Min	500	0	0.00%
485	Max	Max	Max	Max	Min	500	0	0.00%
486	Nominal	Max	Min	Nominal	Max	500	3	0.60%
487	Nominal	Max	Min	Nominal	Max	500	4	0.80%

ตารางที่ 16 ผลการทดลอง Full factorial 2^k ของ 3 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Die depth ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน Heat temp (^{0}C)	แรงดันเป่าร้อน Blowing pressure (Psi)	จำนวนของเสีย	% ของเสีย
25	1	1	1	1	94	4	0	0.00%
7	2	1	1	1	100	12	50	10.00%
19	3	1	1	1	100	4	35	7.00%
24	4	1	1	3	100	12	120	24.00%
9	5	1	1	1	94	4	0	0.00%
15	6	1	1	1	100	12	54	10.80%
6	7	1	1	3	94	12	60	12.00%
11	8	1	1	1	100	4	55	11.00%
29	9	1	1	1	94	12	0	0.00%
31	10	1	1	1	100	12	64	12.80%
28	11	1	1	3	100	4	74	14.80%
37	12	1	1	1	94	12	0	0.00%
33	13	1	1	1	94	4	0	0.00%
1	14	1	1	1	94	4	0	0.00%
22	15	1	1	3	94	12	60	12.00%
27	16	1	1	1	100	4	80	16.00%
23	17	1	1	1	100	12	20	4.00%
21	18	1	1	1	94	12	0	0.00%
26	19	1	1	3	94	4	90	18.00%
40	20	1	1	3	100	12	100	20.00%
12	21	1	1	3	100	4	51	10.20%
35	22	1	1	1	100	4	70	14.00%
34	23	1	1	3	94	4	70	14.00%
2	24	1	1	3	94	4	95	19.00%
18	25	1	1	3	94	4	70	14.00%
13	26	1	1	1	94	12	0	0.00%
38	27	1	1	3	94	12	60	12.00%
32	28	1	1	3	100	12	60	12.00%

ตารางที่ 16 ผลการทดลอง Full factorial 2^k ของ 3 ปัจจัย ความลึกของแม่พิมพ์ อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน แรงดันลมที่ใช้ในการเป่าฟิล์ม

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Die depth ความลึกของแม่แบบ	อุณหภูมิที่ใช้เป่าร้อน Heat temp (^{0}C)	แรงดันเป่าร้อน Blowing pressure (Psi)	จำนวนของเสีย	% ของเสีย
8	29	1	1	3	100	12	150	30.00%
4	30	1	1	3	100	4	64	12.80%
16	31	1	1	3	100	12	100	20.00%
36	32	1	1	3	100	4	60	12.00%
10	33	1	1	3	94	4	92	18.40%
17	34	1	1	1	94	4	0	0.00%
5	35	1	1	1	94	12	0	0.00%
3	36	1	1	1	100	4	50	10.00%
14	37	1	1	3	94	12	55	11.00%
30	38	1	1	3	94	12	59	11.80%

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาววิมลศรี สิทธิกูล
ที่ทำงาน	บริษัทผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 80/2 หมู่ 2 ตำบลบ้านอิฐ อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง รหัสไปรษณีย์ 14000
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2543	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
พ.ศ. 2553	ศึกษาต่อระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2549 – ปัจจุบัน	บริษัท ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์