การลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

REDUCING DEFECTIVE IN THE RUBBER GLOVE MANUFACTURING WITH STATISTICAL EXPERIMENTAL DESIGN

ณัฐนรี ระวังวงศ์
NATNAREE RAWANGWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-217-083

การลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

REDUCING DEFECTIVE IN THE RUBBER GLOVE MANUFACTURING WITH STATISTICAL EXPERIMENTAL DESIGN

ณัฐนรี ระวังวงศ์

NATNAREE RAWANGWONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-217-083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REDUCING DEFECTIVE IN THE RUBBER GLOVE MANUFACTURING WITH STATISTICAL EXPERIMENTAL DESIGN

NATNAREE RAWANGWONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2019

KMITL-2019-EN-M-217-083

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2019
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยางด้วยการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ
Thesis Title Reducing Detective in the Rubber Glove Manufacturing with Statistical Experimental Design
นักศึกษา นางสาวณัฐนรี ระวังวงศ์
รหัสประจำตัว 57601322
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.เชาวลิต หามนตรี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-EN-M-217-083

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิกรม	จารุพงศา	
ผศ.ดร.ชุมพล	ยวงใย	
ผศ.ดร.กิตติวัฒน์	สิริเกษมสุข	
รศ.ดร.สกนธ์	คล่องบุญจิต	
ดร.เชาวลิต	หามนตรี	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 เวลา 11.30-13.30 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)
คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยางด้วยการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ
นักศึกษา	นางสาวณัฐนรี ระวังวงศ์
รหัสประจำตัว	57601322
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.เชาวลิต หามนตรี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพและการออกแบบการทดลองเพื่อค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตถุงมือยางโรงงานกรณีศึกษา จากการศึกษาพบว่ามีจำนวนของเสียที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยสามารถแบ่งลักษณะของเสียหลักออกได้เป็น 3 ลักษณะ ประกอบด้วยถุงมือยางมีรูรั่ว ถุงมือยางมีรอยสกปรก และถุงมือยางมีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจากสาเหตุอื่นๆ จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองโดยใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพและการออกแบบการทดลอง พบว่า อุณหภูมิของเตาอบและเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาถุงมือยางรั่ว จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization) ผลจากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิของเตาอบที่ระดับ 100 องศาเซลเซียส และ เวลาในการอบ 30 นาที พบว่า จำนวนของเสียเฉลี่ยของถุงมือที่มีรูรั่วหรือขาดลดลง 2.16% เหลือเพียง 1.59% และจำนวนของเสียจากสาเหตุอื่นลดลงด้วยเมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธีการอื่นร่วมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Reducing Defective in the Rubber Glove Manufacturing with Statistical Experimental Design
Student	Ms. Natnaree Rawangwong
Student ID.	57601322
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Dr. Chaowalit Hamontree

ABSTRACT

This thesis aims to apply the Quality Techniques and Design of Experiment (DOE) to investigate and analyze the critical defective of a glove's production in the case study. The study found that the number of defects can be divided into three main types, including of leak, dirt, and miscellaneous. The experimental data have been analyzed by using quality tools and DOE particularly full factorial design in order to find optimal parameters. The experimental results shown that temperature and baking time in the oven is influenced to the number of defective gloves. We used the response surface to find the response optimization of this study that the optimal value of temperature and baking time is 100 ℃ and 30 minutes respectively. Finally, it can be concluded that a gloves defective from leak problem is reduced from 2.16% to 1.59% and the numbers of other defects are decreased as well when the process is improved with other methods.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.เชาวลิต หามนตรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชุมพล ยวงใย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในขั้นตอนการแก้ปัญหา และการใช้โปรแกรม

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ให้ความช่วยเหลือ แนะนำ ตลอดจนให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบคุณ บริษัทผลิตถุงมือยางขนาดกลางแห่งหนึ่ง ที่ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีในการเก็บข้อมูลต่างๆสาหรับการจัดทาวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่คอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจ และสนับสนุนในทุกๆด้าน ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐนรี ระวังวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญตาราง VI
สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 4
1.3 ขอบเขตการวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา 4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 ยางธรรมชาติ 5
2.2 ถุงมือยาง 5
2.3 เครื่องมือการควบคุมคุณภาพ 8
2.4 การออกแบบการทดลอง 10
2.5 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป 13
2.6 การตั้งสมมติฐานการวิจัย 14
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 15
2.8 การวิเคราะห์การถดถอย 17
2.9 วิธีพื้นผิวตอบสนอง 18
2.10 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19
2.11 บทสรุปจากการศึกษาทฟษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 23
3.1 ศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยางและลักษณะของปัญหากรณีศึกษา 24
3.2 วิเคราะห์หาสาเหตุและกำหนดปัจจัยของปัญหา 29
3.3 การออกแบบการทดลอง 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม 32
3.5 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง 32
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 33
4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อการกำหนดปัจจัยของปัญหา 33
4.2 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป 35
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม 39
4.4 เปรียบเทียบผลดำเนินการปรับปรุง 43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 46
5.1 สรุปผลการวิจัย 46
5.7 ข้อเสนอแนะ 47
เอกสารอ้างอิง 48
ภาคผนวก ก 51
ภาคผนวก ข 59
ภาคผนวก ค 62
ภาคผนวก ง 67
ภาคผนวก จ 69
ประวัติผู้เขียน 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
1.1 มูลค่าจากการส่งออกของผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางของไทยปี 2557-2560 1
1.2 แสดงถึงจำนวนของเสียและประเภทของของเสียที่เกิดขึ้น.....2
1.3 แสดงการจัดเรียงลำดับของปัญหาที่มีความถี่มากที่สุดไปหาน้อย 3
2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)..... 17
4.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง..... 34
4.2 จำนวนถุงมือยางที่ใช้ในการทดลอง 35
4.3 ผลจากการเก็บข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป..... 35
4.4 ผลทางสถิติของแบบจำลองสมการถดถอยกำลังสองของผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว.. 40
4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว..... 40
4.6 Response Optimization ของจำนวนถุงมือยางรั่ว 42
4.7 ค่าของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 43
4.8 จำนวนของเสียที่เกิดก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยปัจจัยที่เหมาะสม 43
4.9 การเปรียบเทียบจำนวนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียตามประเภทของของเสีย 3

2.1 ตัวอย่างถุงมือยางสำหรับทางการแพทย์ 6

2.2 ตัวอย่างถุงมือยางสำหรับงานอุตสาหกรรม 6

2.3 ตัวอย่างถุงมือยางสำหรับงานในครัวเรือน 7

2.4 ตัวอย่างเบ้ามือเซรามิกสำหรับใช้ผลิตถุงมือยาง 8

2.5 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต 9

2.6 ตัวอย่างโครงสร้างแผนภาพสาเหตุและผล 10

2.7 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ 11

2.8 ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย 13

2.9 บริเวณวิกฤตและค่าวิกฤต 15

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 23

3.2 แสดงกระบวนการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา 24

3.3 การทดสอบวัตถุดิบ 25

3.4 การผสมน้ำยาง 25

3.5 การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรดและด่าง 26

3.6 การขัดทำความสะอาดเบ้ามือ 26

3.7 การล้างทำความสะอาดเบ้ามือด้วยน้ำร้อน 26

3.8 การอบเบ้ามือเบื้องต้น 26

3.9 การจุ่มเบ้ามือในสารช่วยจับ 26

3.10 การจุ่มเบ้ามือในน้ำยาง 26

3.11 การอบถุงมือยาง 27

3.12 การล้างถุงมือยาง 27

3.13 การอบถุงมือยางขั้นสุดท้าย 27

3.14 การถอดถุงมือยางจากเบ้ามือ 28

3.15 การตรวจสอบคุณภาพถุงมือยาง 28

3.16 การบรรจุถุงมือยาง 29

3.17 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของการเกิดถุงมือรั่ว 30

3.18 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า
4.1 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของการเกิดถุงมือยางรั่วหลังจากผ่านการพิจารณาเบื้องต้น 34
4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป 36
4.3 Normal probability plot ของจำนวนถุงมือยางรั่ว 37
4.4 Versus Fits ของจำนวนถุงมือยางรั่ว 38
4.5 Versus order ของจำนวนถุงมือยางรั่ว 38
4.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจากวิธีการพื้นผิวตอบสนอง 39
4.7 Contour Plot ของผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว 41
4.8 Optimization plot ของจำนวนถุงมือยางรั่ว 42
4.9 สัดส่วนของเสียจากปัญหาถุงมือรั่วก่อนและหลังปรับปรุง 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศทั้งในแง่ของการสร้างมูลค่าเพิ่มและการจ้างแรงงาน ในปี 2558 ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางพาราอันดับ 1 ของโลก มีผลผลิต 4.5 ล้านตัน คิดเป็นสัดส่วน 35.7% ของผลผลิตโลก รองลงมา คือ อินโดนีเซีย จีน อินเดีย และมาเลเซีย ซึ่งมีสัดส่วนการผลิต 26% 7% 6% และ 5.5% ตามลำดับ [1] ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่มียางเป็นส่วนประกอบหลักเป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยจากการส่งออกและมีแนวโน้มของมูลค่าของการส่งออกเพิ่มขึ้นในทุกๆปี ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ คือ ยางแปรรูปขั้นต้น ยางยานพาหนะ ถุงมือยาง ยางรัดของ และอื่นๆ จากข้อมูลการส่งออกของผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางของไทยจากปี 2557 – 2560 ดังตารางที่ 1 พบว่า ถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างรายได้จากการส่งออกสูงเป็นอันดับ 2 รองจากผลิตยางยานพาหนะ ในปี 2560 มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น 10.62% เมื่อเทียบกับจากปีก่อนหน้า [2]

ตารางที่ 1.1 มูลค่าจากการส่งออกของผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางของไทยปี 2557-2560 (ล้านเหรียญ)

ผลิตภัณฑ์ยาง	2557	2558	2559	2560
ยางยานพาหนะ	3,697.74	3,637.25	3,750.32	4,584.85
ถุงมือยาง	1,116.34	971.37	954.49	1,055.87
หลอดและท่อ	290.21	294.78	305.70	349.75
สายพานลำเลียงและส่งกำลัง	129.64	127.12	141.73	159.73
ยางรัดของ	88.55	66.93	61.11	72.59

ที่มา : สถิติการค้าระหว่างประเทศไทย (2561)

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตถุงมือยางของไทยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีการแข่งขันด้านการตลาดสูง ด้านผู้ประกอบการจึงต้องผลิตถุงมือยางให้มีคุณภาพเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยถุงมือยางที่มีการผลิตในประเทศไทยมี 3 ประเภทคือ ถุงมือยางสำหรับทางการแพทย์ ถุงมือยางสำหรับงานอุตสาหกรรม และถุงมือยางสำหรับงานในครัวเรือน การผลิตถุงมือยางของไทยมีทั้งจำหน่ายภายในประเทศและส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ สำหรับโรงงานผลิตถุงมือยางกรณีศึกษา เป็นโรงงานที่ผลิตถุงมือยางสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม โดยผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะมีการจัดจำหน่ายภายในประเทศไทยเท่านั้น

กระบวนการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษาประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบวัตถุดิบ (Raw Material Testing) เป็นการทดสอบคุณภาพของวัตถุดิบ โดยได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด ขั้นตอนที่ 2 การผสมน้ำยาง (Compounding) เป็นการผสมน้ำยางและสารเคมีที่เป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา ขั้นตอนที่ 3 การจุ่มน้ำยาง (Dipping) เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบน้ำยางบนเบ้ามือ ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ขั้นตอนที่ 4 การล้างเบ้ามือและการอบถุงมือให้ยางคงรูป (Leaching and Vulcanizing) เป็นการล้างสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อยาง และลดปริมาณโปรตีนในถุงมือ จากนั้นนำถุงมือไปอบเพื่อให้เนื้อยางแห้งและสุก ขั้นตอนที่ 5 การถอดถุงมือจากเบ้ามือ (Stripping) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในสายการผลิตถุงมือยาง ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้พนักงานในการถอดถุงมือ ขั้นตอนที่ 6 กระบวนการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นการใช้สายตา โดยใช้ลมเป่าให้ถุงมือโป่ง และตรวจสอบว่า มีรอยรั่วหรือรอยฉีกขาดเกิดขึ้นหรือไม่ ขั้นตอนที่ 7 การบรรจุ (Packing) ถุงมือลงกล่องเพื่อรอจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยาง โดยได้ทำการเก็บข้อมูลของเสีย 18 กลุ่มตัวอย่างมาทดสอบคุณภาพของถุงมือยางทุกชิ้น พบว่า มีถุงมือยางที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น ถุงมือฉีกขาด มีรูรั่ว และมีสิ่งสกปรกเจือปน ดังตารางที่ 1.2 แสดงถึงจำนวนของเสียและประเภทของของเสียที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 1.2 แสดงถึงจำนวนของเสียและประเภทของของเสียที่เกิดขึ้น

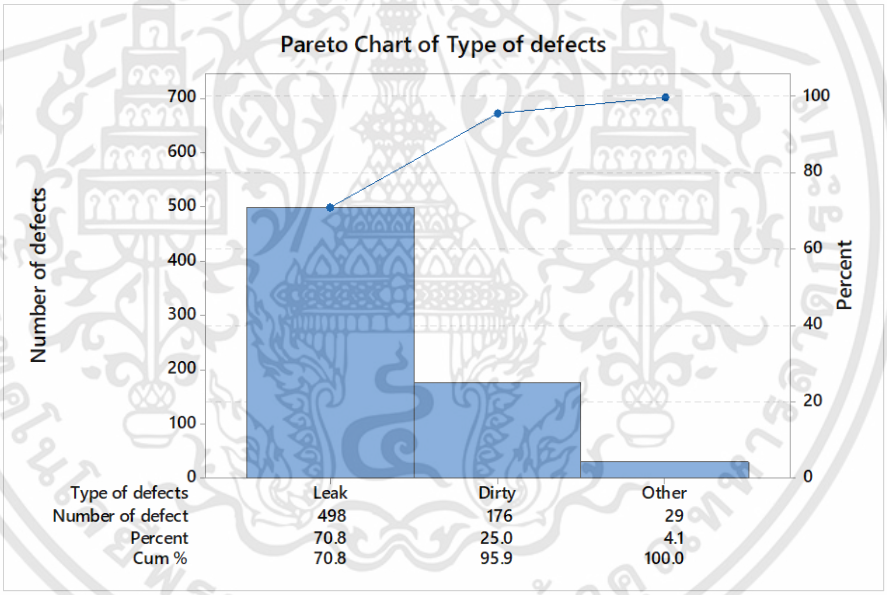
No.	จำนวนที่ผลิต/กล่อง (ชิ้น)	จำนวนของเสีย/กล่อง (ชิ้น)	ประเภทของของเสีย		
			รั่ว	สกปรก	อื่นๆ
1	1280	31	25	5	1
2	1280	41	28	11	2
3	1280	32	29	3	0
4	1280	39	24	12	3
5	1280	35	29	5	1
6	1280	48	35	12	1
7	1280	50	37	10	3
8	1280	44	28	14	2
9	1280	38	26	10	2
10	1280	35	28	7	0
11	1280	28	19	8	1
12	1280	43	29	12	2
13	1280	32	26	5	1
14	1280	45	27	14	4
15	1280	38	22	14	2
16	1280	47	32	13	2
17	1280	46	30	15	1
18	1280	31	24	6	1
รวม	23040	703	498	176	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเก็บข้อมูลตารางที่ 1.2 พบว่าประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตมี 3 ประเภทคือ ถุงมือรั่วมีจำนวนของเสีย 498 ชิ้น ถุงมือสกปรกมีจำนวนของเสีย 176 ชิ้น และการเสียของถุงมือจากสาเหตุอื่นๆ มีจำนวนของเสีย 29 ชิ้น จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเรียงลำดับจากปัญหาที่มีความถี่มากไปยังน้อย เพื่อพิจารณาปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดมาวิเคราะห์และแก้ไข แสดงดังตาราง 1.3

ตารางที่ 1.3 แสดงการจัดเรียงลำดับของปัญหาที่มีความถี่มากที่สุดไปหาน้อย

ประเภทของของเสีย	จำนวนของเสีย	เปอร์เซ็นต์ของเสีย (%)	เปอร์เซ็นต์ของเสียสะสม (%)
รั่ว	498	70.84%	70.8
สกปรก	176	25.04%	95.9
อื่นๆ	29	4.13%	100
รวม	703	100	



รูปที่ 1.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียตามประเภทของของเสีย

จากรูปที่ 1.1 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียตามประเภทของของเสีย พบว่าถุงมือรั่วเป็นสาเหตุหลักของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีจำนวนร้อยละของเสียสูงสุด คิดเป็น 70.84% ของประเภทของของเสียทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกปัญหานี้มาทำการศึกษาและหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติและเทคนิคทางด้านคุณภาพ จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบและกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมให้กระบวนการผลิตเพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต

1.2.3 เพื่อหาแนวทางในการลดจำนวนของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานผลิตถุงมือยาง เฉพาะถุงมือขนาด “M” เนื่องจากมีการผลิตในปริมาณที่สุด

1.3.2 ทำการเก็บข้อมูลการผลิต โดย 1 รอบการผลิตมีจำนวนถุงมือยาง 1,280 ชิ้น ในช่วงเดือนสิงหาคม ถึง ตุลาคม พ.ศ.2561

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถระบุปัจจัยที่มีอิทพลต่อการเกิดของเสียและระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตถุงมือยาง

1.4.2 เป็นแนวทางในการการปรับปรุงการผลิตถุงมือยาง และสามารถลดการปฏิเสธของลูกค้าได้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของการผลิตถุงมือยาง ของโรงงานผลิตถุงมือยาง กรณีศึกษา มีขั้นตอนของการศึกษาดังนี้

1.5.1 ศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต

1.5.3 วิเคราะห์และหาสาเหตุของปัญหาที่มีผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ด้วยแผนภูมิแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

1.5.4 ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design)

1.5.5 วิเคราะห์ผลการทดลองและหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (Response Optimization)

1.5.7 สรุปผลการวิจัย และกำหนดข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง รวมทั้งหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ เครื่องมือการควบคุมคุณภาพ และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) การวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดตามหัวข้อดังต่อไปนี้

2.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber: NR) คือ เป็นผลิตผลที่ได้จากต้นยางพาราที่เรียกว่า น้ำยางสด (Latex) ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของสารไอโซพรีนมาผ่านกระบวนการผลิตเพื่อได้น้ำยางสดเข้มข้นและสามารถเก็บไว้ได้นาน โดยทั่วไปแล้วน้ำยางสดถูกนำมาแปรรูปเป็น 2 ลักษณะ คือ ในรูปของน้ำยางข้นจะเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ ได้แก่ ถุงมือยาง ลูกโป่ง อุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น และในรูปของยางแห้ง ได้แก่ ยางแท่ง ยางแผ่นรมควัน เป็นต้น ซึ่งยางธรรมชาตินั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลากหลายและมีคุณสมบัติดังนี้ [28]

2.1.1 ความยืดหยุ่น ยางธรรมชาติที่ทำให้คงรูปนั้นจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีแรงมากระทำยางก็จะคืนสภาพเดิมหรือใกล้เคียงได้เร็ว

2.1.2 ความเหนียวติดกัน ยางธรรมชาติที่ยังมำให้คงรูปนั้นจะมีคุณสมบัติที่ดีในด้านของความเหนียวติดกัน ซึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการประกอบให้ชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น ถุงมือยาง ยางยานพาหนะ ท่อยาง เป็นต้น

2.1.3 ความต้านทานแรงฉีกขาด ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อมีการดึงยืด จึงมีความต้านทานแรงฉีกได้สูงทั้งในอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง ดังนั้นหากมีการเติมสารเสริมแรงผสมลงไปก็จะช่วยให้ความต้านทานของแรงฉีกของยางนั้นสูงขึ้นด้วย

2.1.4 อุณหภูมิของการใช้งาน ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ดีในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ -55 – 70 องศาเซลเซียส ถ้าหากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนานๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกส่งผลให้ยางแข็งขึ้นและความยืดหยุ่นจะลดลงตามไป แต่ถ้าหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไป สมบัติทางกลต่างๆก็จะลดลงด้วยเนื่องจากความร้อนจะให้ยางเสื่อมสภาพ โดยยางธรรมชาตินั้นสามารถนำมาใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส

2.2 ถุงมือยาง [3]

ถุงมือยางที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีการคิดค้นและผลิตขึ้นเป็นครั้งแรกโดยนายแพทย์วิลเลียม ฮัลสเตด โรงพยาบาลจอห์นฮอพกินส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงศตวรรษที่ 19 เนื่องจากพบว่ามีพยาบาลเกิดอาการแพ้น้ำยาฆ่าเชื้อโรคที่ต้องใช้ในการล้างมือก่อนผ่าตัดจนทำให้เป็นผื่นคันและปวดแสบปวดร้อนบริเวณมือ จึงทำให้มีการผลิตถุงมือยางขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว พบว่าสามารถลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาการเกิดอาการแพ้และป้องกันการติดเชื้อโรคต่างๆได้ หลังจากนั้นมาจึงมีการผลิตถุงมือยางเพิ่มขึ้นจนเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบันและในหลายภาคส่วนอีกด้วย

2.2.1 ประเภทของถุงมือยาง

การใช้งานถุงมือยางมีหลากหลายรูปแบบ ลักษณะและขั้นตอนในกระบวนการผลิตก็แตกต่างกันไป โดยสามารถแบ่งประเภทตามการใช้งานได้ 3 ประเภท ดังนี้

1) ถุงมือยางสำหรับทางการแพทย์ (Medical Glove) เป็นถุงมือยางที่ใช้เทคโนโลยีในกระบวนการผลิตสูงกว่าถุงมือยางประเภทอื่นๆ โดยถุงมือยางสำหรับทางการแพทย์สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- ถุงมือยางสำหรับงานผ่าตัด (Surgical Glove) ลักษณะของถุงมือชนิดนี้จะยาวถึงข้อศอก เนื้อบาง ระบุด้านซ้ายขวาชัดเจน และต้องผ่านกระบวนฆ่าเชื้อ 100% การใช้งานนั้นจะใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง
- ถุงมือยางสำหรับงานตรวจโรค (Examination Glove) ใช้สำหรับงานตรวจโรคโดยทั่วไป ใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้ง ลักษณะของถุงมือจะยาวถึงข้อมือ เนื้อบาง กระชับมือ

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างถุงมือยางสำหรับทางการแพทย์ [4]

2) ถุงมือยางสำหรับงานอุตสาหกรรม (Industrial Glove) เป็นถุงมือที่มีลักษณะเฉพาะในแต่ละอุตสาหกรรม มีความแข็งแรง เนื้อบางหรือหนาขึ้นอยู่กับการใช้งาน

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างถุงมือยางสำหรับงานอุตสาหกรรม [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ถุงมือยางสำหรับงานในครัวเรือน (Household Glove) หรือถุงมือแม่บ้าน ลักษณะของถุงมือจะหนากว่าถุงมือสำหรับทางการแพทย์ ที่มีความแข็งแรง ทนทาน ออกแบบมาเพ่อใช้ในงานทำความสะอาดต่างๆ ใช้งานได้นาน

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างถุงมือยางสำหรับงานในครัวเรือน [4]

2.2.2 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

ผลิตภัณฑ์ถุงมือยางส่วนใหญ่จะใช้ของน้ำยางข้นชนิด 60% เป็นวัตุดิบหลักที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำยางข้น ในกระบวนการผลิตถุงมือยางนั้นจะเป็นการผลิตแบบจุ่ม (Dipping) โดยจะนำเบ้ามือที่ทำจากเซรามิกมาเป็นตัวแบบพิมพ์ ขั้นตอนการผลิตถุงมือยางสำหรับการตรวจโรคมีดังนี้ [3], [15]

1) การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ เป็นขั้นตอนการเตรียมน้ำยางข้นกับสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารที่ทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing Agent) สารกระตุ้นปฏิกิริยา (Accelerator Agent) สารตัวเติม (Filler) เป็นต้น เพื่อให้ได้ถุงมือยางที่มีคุณสมบัติเชิงกล และหลังจากที่ผสมน้ำยางและสารเคมีเข้ากันแล้วก้ทำการบ่มทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยาคอมปาวด์ก่อนนำไปใช้งานในขั้นตอนถัดไป

2) การเตรียมเบ้ามือ โดยเริ่มจากนำเบ้ามือมาติดตั้งบนสายโซ่ลำเลียงของสายการผลิตก่อนจะนำเบ้ามือไปใช้นั้นต้องผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาดดังนี้

- ล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรด และสารละลายด่าง เพื่อทำความสะอาดครบสิ่งสกปรก สารเคมี ที่ติดมากับเบ้ามือ
- ขัดทำความสะอาดด้วยลูกกลิ้งแปรง ในขั้นตอนนี้จะฉีดน้ำควบคู่ไปกับการขัดทำความสะอาด
- ล้างเบ้ามือด้วยน้ำร้อน และนำไปอบให้แห้งก่อนจะนำไปใช้ในกระบวนการจุ่มขึ้นรูปถุงมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างเบ้ามือเซรามิกสำหรับใช้ผลิตถุงมือยาง [16]

3) การจุ่มขึ้นรูป ลำเลียงเบ้ามือที่ผ่านการทำความสะอาดเข้าสู่ขั้นตอนการจุ่มน้ำยางเพื่อให้ขึ้นรูปถุงมือ โดยมีขั้นตอนดังนี้

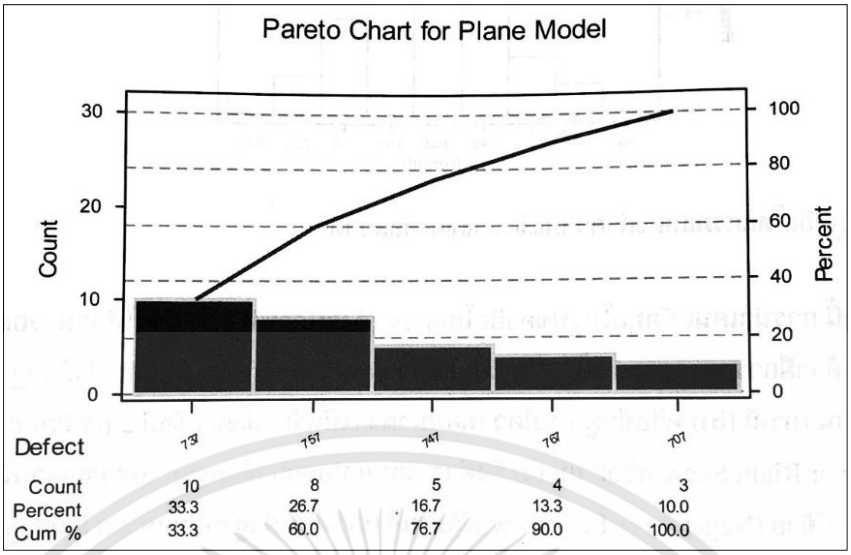
- นำเบ้ามือไปจุ่มสารช่วยจับ เพื่อช่วยให้น้ำยางคอมปาวด์จับตัวเป็นแผ่นฟิล์มและเกาะติดเบ้ามือได้ดีและนำไปอบให้แห้ง
- นำเบ้ามือที่ผ่านการจุ่มสารช่วยจับมาจุ่มในน้ำยางคอมปาวด์ แล้วนำไปอบเพื่อให้เป็นตัวฟิล์มถุงมือ ก่อนจะนำไปจุ่มสารโพลิเมอร์
- ม้วนขอบถุงมือยางเพื่อให้ฟิล์มยางแข็งแรงและง่ายต่อการถอดออกจากเบ้ามือ
- ล้างถุงมือยางด้วยน้ำร้อนเพื่อล้างโปรตีน และสารเคมีต่างๆ
- อบถุงมือให้เนื้อยางสุกสมบูรณ์ที่อุรหภูมิ 100 – 120 องศาเซลเซียส
- ถอดถุงมือออกจากเบ้ามือ เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต

2.3 เครื่องมือการควบคุมคุณภาพ [5,6,7]

เครื่องมือหลักสำหรับการทดลอง คือ เครื่องมือทางคุณภาพ (Quality Tools) เป็นเครื่องมืออาศัยวิธีการทางสถิติมาใช้เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล การจัดระเบียบข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล รวมไปถึงการสนุบสนุนการตัดสินใจ โดยเครื่องมือการควบคุมคุณภาพมีที่สำคัญมีดังนี้

2.3.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหากับปริมาณของความสูญสียที่เกิดขึ้น จะมีการแบ่งหัวข้อตามประเภทของปัญหาและความถี่ของการเกิดปัญหา โดยจะมีการเรียงลำดับของความถี่มากไปหาน้อยเพื่อแสดงถึงความความสำคัญและใช้ในการประกอบการตัดสินใจในการเลือกปัญหามาพิจารณาในการปรับปรุงและแก้ไข ซึ่งจะเลือกปัญหาที่มีความถี่มากมาพิจารณาเป็นอันดับแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

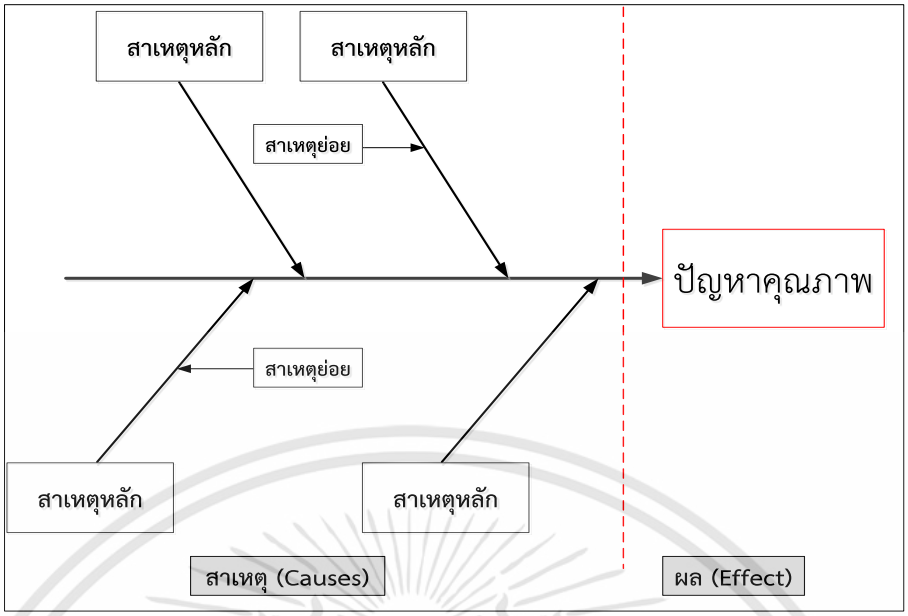


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต [13]

2.3.2 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ชี้ให้เห็นถึงสาเหตุหลักและสาเหตุรอง โดยการระดมสมอง (Brainstorming) หรือการระดมความคิดเห็นจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ทราบถึงปัญหาที่แท้จริง สามารถปรับปรุงและแก้ไขปัญหาได้ถูกต้อง

แผนภาพสาเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลาจะประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คือ ส่วนก้างปลาเป็นส่วนที่แสดงทั้งสาเหตุหลักและสาเหตุรองของปัญหาโดยจะเขียนอยู่ทางซ้ายมือ และส่วนหัวปลาเป็นส่วนที่แสดงถึงปัญหาที่เรากำลังวิเคราะห์จะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือ ดังรูป2.4 โดยส่วนมากจะใช้หลักการ 4M 1E คือ คนหรือพนักงาน (Man) เครื่องมือหรือเครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) กระบวนการทำงาน (Method) และบรรยากาศการทำงานหรือสภาพแวดล้อม (Environment) เป็นกลุ่มปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



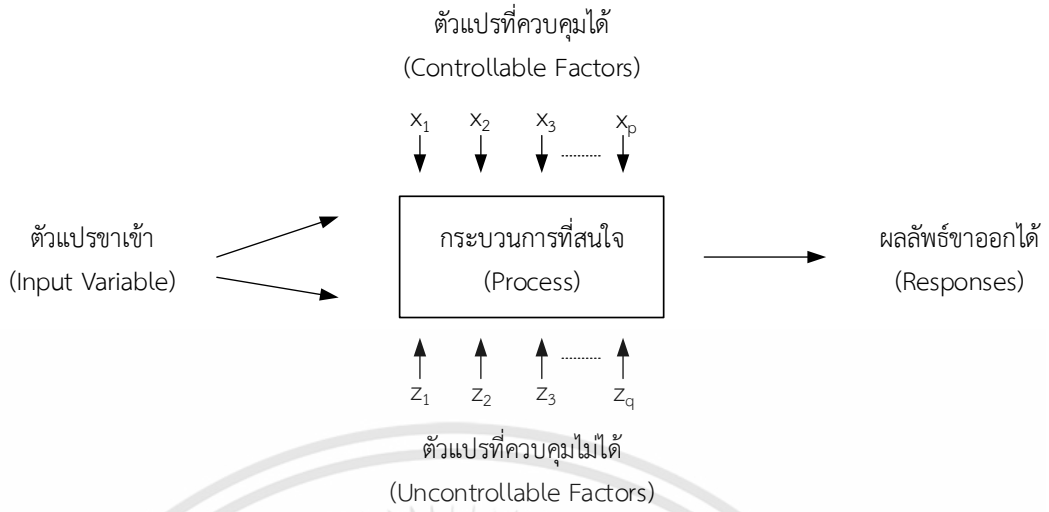
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างโครงสร้างแผนภาพสาเหตุและผล

2.4 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) [6,10]

การทดลอง (Experiment) คือ การจำลองสภาพจริงให้มาอยู่ในลักษณะที่สามารถควบคุมได้ มีการออกแบบให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบถึงข้อเท็จจริงที่เป็นผลจากการทดลอง โดยจะแบ่งการทดลองเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อให้ทราบถึงผลเบื้องต้นซึ่งจะนำผลเหล่านี้ไปใช้ทดลองในขั้นตอนต่อไป และการทดลองขั้นตัดสินใจเป็นการนำผลที่ได้จากกันทดลองเบื้องต้นมาทำการทดลองเพื่อจะหาค่าที่ดีที่สุด

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) คือการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาของข้อมูลที่เหมาะสมและหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ได้ โดยการทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการที่ทำการศึกษา เพื่อเป็นจุดบ่งชี้หรือสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลลัพธ์ขาออก (Responses) การทดลองที่นำมาใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพใช้กระบวนการต่างๆ สามารถเขียนออกมาในรูปแบบจำลองโดยทั่วไป ดังรูปที่ 2.5 สำหรับการกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบ เครื่องจักร เป็นต้น และตัวแปรที่ควมคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) ได้แก่ ฝุ่นละออง ความชื้น เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แบบจำลองทั่วไปของกระบวนการ

วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อตัวแปร Y
2. หาค่าของตัวแปร X ที่มีผลต่อตัวแปร Y ให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด
3. หาค่าของตัวแปร X ที่มีผลต่อตัวแปร Y มีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด
4. หาค่าของตัวแปร X ที่มีผลต่อตัวแปร Y เพื่อให้ค่าของตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Z) น้อยที่สุด

2.4.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

การทดลองเพื่อให้มีความถูกต้องและเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดนั้นคือการนำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบการทดลอง ทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ โดยมีหลักการพื้นฐานในการออกแบบการทดลองดังนี้

1) การทำซ้ำ (Replication) เป็นการทำการทดลองซ้ำๆ ในทุกตำแหน่งของการทดลอง เพื่อหาค่าความผิดพลาดในการทดลอง (Random Error) และนำมาใช้ในการประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง ดังนั้นการทำซ้ำจึงทำให้สามารถหาตัวประมาณค่าที่ถูกต้องได้ โดยทั่วไปนั้นผลจากการทดลองที่ได้ในตำแหน่งเดียวกันควรมีค่าความผิดพลาดไม่ต่างกันมาก แต่ถ้ามีค่าต่างกันมากนั้นแสดงว่าผลที่ได้จะม่ค่าความผิดพลาดสูง

2) การทำสุ่ม (Randomization) เป็นการออกแบบการทดลองโดยที่วัตถุดิบในการการทดลองและลำดับของการทดลองในแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม การกำหนดข้อมูลนั้นต้องเป็นตัวแปรที่มีการกระจายตัวแบบอิสระ เพื่อลดความเอนเอียงของผู้ทดลองและลดผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยภายนอกในการทดลองได้

3) บล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นการจัดกลุ่มการทดลองออกเป็นส่วนๆ เพื่อป้องกันผลกระทบของวัตถุดิยที่มีความแตกต่าง จะใช้สำหรับกรณีที่มีข้อจำกัดของวัตถุดิบ เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้วัตถุดิบมากกว่า 1 ล็อตในการออกแบบการทดลองนั้นๆ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการทดลองเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

1) การทำความเข้าใจถึงปัญหา ในการออกแบบการทดลองแต่ละครั้งผู้ทำการทดลองต้องทำความเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นก่อน เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่แน่ชัด จึงสามารถกำหนดปัญหาและกำหนดวัตถุประสงค์ในการทดลองได้ สำหรับข้อมูลที่นำมาเป็นตัวแปรหรือปัจจัยและผลลัพธ์ที่ออกมาสำหรับการทดลองหรือกระบวนการนั้นจะเป็นข้อมูลที่หาได้จากทีมงาน ผู้เชี่ยวชาญหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ผู้บริหาร ฝ่ายการผลิต ฝ่ายการตลาด หรือลูกค้า เป็นต้น เมื่อได้ข้อมูลแล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่เกิดขึ้น เพื่อทำการปรับปรุง และเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

2) การกำหนดปัจจัย ระดับปัจจัย ในการกำหนดปัจจัยในการทดลองนั้นคือการเลือกปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทดลองจากการเก็บข้อมูล การสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง หรือการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีต่างๆ ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่เลือกมานั้นมีความสำคัญหรือไม่ ซึ่งปัจจัยที่นำมาใช้ในการกระบวนการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำการทดลองจึงมีการกำหนดระดับ (Level) และการกรองปัจจัย (Screening) ทำให้ผู้ทำการทดลองทราบว่าในช่วงระดับปัจจัยแต่ละช่วงมีค่าแตกต่างกันอย่างไร และสามารถนำผลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าหรือคำตอบเหมาะสมได้อย่างไร

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง เป็นการเลือกตัวแปรที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับกระบวนการทดลองที่ศึกษา โดยสามารถมีได้มากกว่า 1 ตัวแปร

4) การเลือกรูปแบบของการออกแบบการทดลอง ในการเลือกแบบของการทดลองนั้นผู้วิจัยต้องเลือกคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองนั้นๆเสมอ โดยการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง การเลือกลำดับของการเก็บข้อมูล รวมทั้งการเลือกใช้วิธีการทำสุ่มหรือการบล็อกกิ้ง ซึ่งในการทดลองนั้นเราจะทราบแล้วว่ามีปัจจัยบางตัวที่จะมีผลต่อผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องหาว่าปัจจัยตัวใดบ้างที่ทำให้เกิดความต่างและสามารถประมาณค่าของความต่างที่เกิดขึ้น นอกจากนี้จำนวนปัจจัยที่เราเลือกหรือสนใจในการทดลองนั้นก็มีส่วนในการเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมได้ เช่น หากเราต้องสนใจปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัยหรือมากกว่าและสนใจปฏิกิริยาร่วม (Interaction) ก็ควรเลือกการออกแบบการทดลองแบบแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นต้น [9]

5) การทำการทดลอง เมื่อเลือกรูปแบบสำหรับการทดลองได้แล้ว ในกระบวนการทดลองนั้นจะต้องติดตามอย่างใกล้ชิดและเฝ้าสังเกตการทดลอง เพื่อให้แน่ใจว่าการทดลองของเราเป็นไปตามแผน หากมีอะไรผิดพลาดผลการทดลองนั้นจะใช้ไม่ได้และไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนถัดไปได้ ข้อควรระวังในระหว่างทำการทดลองคือความสม่ำเสมอในการทดลองและความถูกต้องของเครื่องมือ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดที่น้อยที่สุด

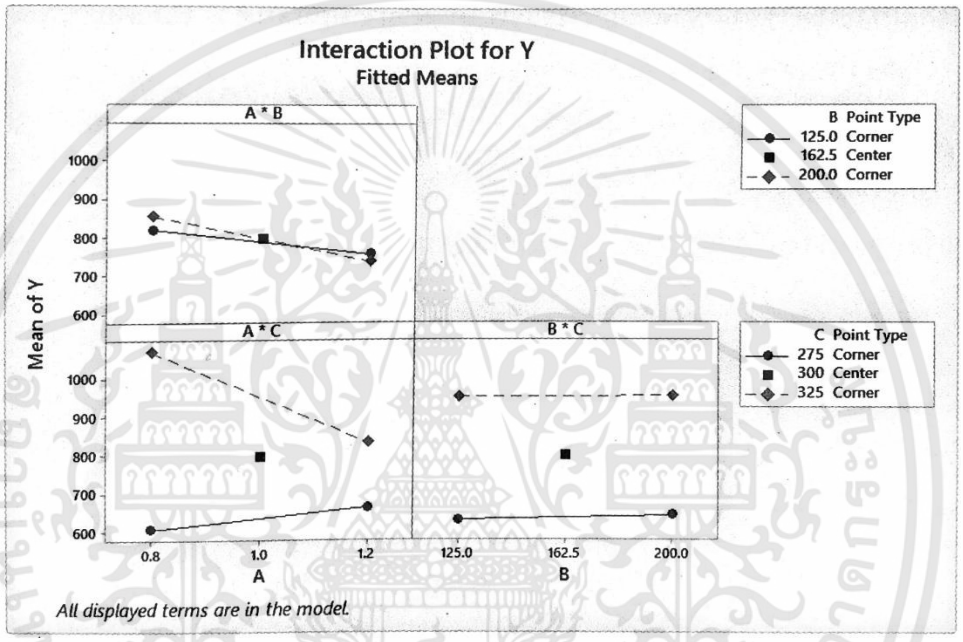
6) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ในขั้นตอนนี้จะใช้วิธีการทางสถิติมาวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง เพื่อจะดูว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าเราได้ทำการทดลองตามแบบที่วางไว้และการทดลองนั้นถูกออกแบบมาอย่างเหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองจะมีความน่าเชื่อถือและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

7) การสรุปผลและข้อเสนอแนะ หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ก็จะทำการหาข้อสรุปที่ได้จากผลลัพธ์จากการทดลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทดลองที่อาจจะมีขึ้นในอนาคตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) [10]

เป็นการทดลองที่มีค่าปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัยขึ้นไป สำหรับการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ถือว่าเป็นวิธีการออกแบบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จะเป็นการพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดในการทดลอง ตัวอย่างในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล เช่น การทดลองมี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A มี a ระดับ ปัจจัย B มี b ระดับ ในการทดลอง 1 การทำซ้ำ (Replicate) จะมีการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง ปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ซึ่งกันและกัน (Crossed) วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลคือ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย หรือ อันตรกิริยา (Interaction)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการเกิดอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) [11]

2.5.1 ข้อดีของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1) ในกรณีที่ปัจจัยแต่ละปัจจัยนั้นไม่เป็นอิสระต่อกัน ค่าของอิทธิพลอย่างง่าย (Simple Effect) จะเท่ากับค่าของอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ดังนั้นจึงใช้เฉพาะอิทธิพลของปัจจัยหลักในการอธิบายของปัจจัยนั้นๆได้และมีความแม่นยำเท่ากัน

2) ในกรณีที่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย ก็จะสามารถศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ไปพร้อมกันได้ ทำให้มีข้อสรุปที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้นและกว้างขวางขึ้น มีความผิดพลาดน้อย และสามารถหาข้อสรุปของการทดลองได้สมเหตุสมผลตามเงื่อนไข

2.5.2 ข้อเสียของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

1) เมื่อมีจำนวนปัจจัยหรือระดับปัจจัยเพิ่มมากขึ้น ทำให้การทดลองมีขนาดใหญ่ ทำให้มีความแปรปรวนในการทดลองมากขึ้น ความแม่นยำของผลก็จะลดลง

2) เมื่อการทดลองมีขนาดใหญ่จะให้ให้การหาผลลัพธ์หรือข้อสรุปยากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การตั้งสมมติฐานการวิจัย [8,14]

การตั้งสมมติฐานการวิจัยเป็นการปรับรูปแบบของปัญหาที่เป็นแนวคิดให้เชื่อมโยงกับตัวแปรที่เราต้องการหาคำตอบหรือการพิสูจน์ เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องพิสูจน์นั้นจึงมีการตั้งสมมติฐานขึ้นมา โดยใช้หลักการทางสถิติ ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นและความสำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเราต้องการอะไรจากการทดลองครั้งนี้

2.6.1 ประเภทของสมมติฐาน

1) สมมติฐานการวิจัย (Research Hypothesis) เป็นสมมติฐานที่มีลักษณะเฉพาะกับเรื่องที่ทำการวิจัย จะอธิบายด้วยรูปแบบข้อความโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย

2) สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis) เป็นสมมติฐานที่อธิบายเป็นสัญลักษณ์ทางสถิติแทน เพื่อที่จะสามารถนำมาทดสอบโดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัย สมมติฐานทางสถิติแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกัน หรือไม่มีความสัมพันธ์กันระหว่างกลุ่มต่างๆ ระหว่างตัวแปรที่นำมาพิสูจน์ เช่น

สมมติฐานหลัก

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \tag{2.1}$$

- สมมติฐานรอง (Alternative hypothesis) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ H_1 เป็นการเขียนสมมติฐานให้สอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกัน หรือมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปรที่นำมาพิสูจน์ เช่น

สมมติฐานรอง

$$H_0 : \mu_1 \neq \mu_2 \tag{2.2}$$

หรือ

$$H_0 : \mu_1 \geq \mu_2 \tag{2.3}$$

$$H_0 : \mu_1 \leq \mu_2 \tag{2.4}$$

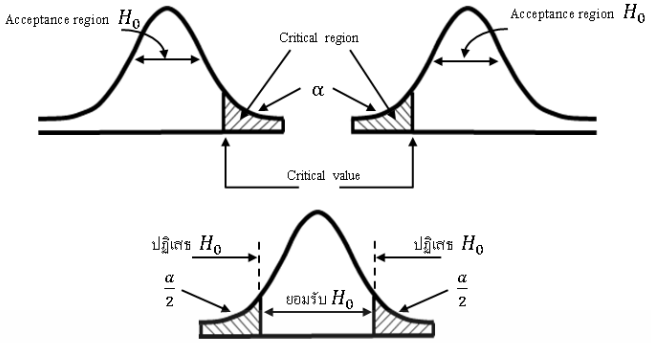
2.6.2 ระดับนัยสำคัญ

ระดับนัยสำคัญจะแทนด้วยสัญลักษณ์ α เป็นค่าที่แสดงในการกำหนดความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจะกำหนดระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือ 0.01 หากค่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าที่กำหนดจะยอมรับ H_0 แต่ถ้าค่ามีความคลาดเคลื่อนมากกว่าที่กำหนดไว้จะปฏิเสธ H_0 [9]

2.6.3 บริเวณวิกฤต

บริเวณวิกฤต คือ บริเวณที่เกิดการปฏิเสธ H_0 หรือยอมรับ H_1 ค่าที่แบ่งกั้นบริเวณนี้และบริเวณที่ทำให้เกิดการปฏิเสธ H_1 เรียกว่า ค่าวิกฤต (Critical Value) โดยตำแหน่งของค่าวิกฤตนั้นจะกำหนดด้วยเครื่องหมายของสมมติฐานรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บริเวณวิกฤตและค่าวิกฤต [8]

2.6.4 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเป็นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแสดงให้เห็นว่าสามารถยอมรับสมมติฐานนี้หรือไม่ โดยมีขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานดังนี้

1) กำหนดสมมติฐานหลัก H_0

2) กำหนดสมมติฐานรอง H_1

3) เลือกระดับนัยสำคัญ α ที่ใช้ในการตัดสินใจ

4) กำหนดบริเวณวิกฤต (Critical Region) ตามระดับนัยสำคัญและการตั้งสมมติฐานรอง H_1 (สมมติฐานแบบทางเดียวหรือสองทาง)

5) สุ่มตัวอย่างขนาด n และทำการคำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบ

6) นำค่าที่ได้จากการคำนวณในข้อ 5) มาเปรียบเทียบกับบริเวณวิกฤตตามข้อ 4) และสรุปผลดังนี้

- ถ้าอยู่ในบริเวณวิกฤตจะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0
- ถ้าอยู่นอกบริเวณวิกฤตจะยอมรับสมมติฐานหลัก H_0

ในการทดสอบสมมติฐานของพารามิเตอร์ของการสรุปผลนั้น มีการยอมรับหรือปฏิเสธ H_0 นั้นจะพิจารณาค่าสถิติที่ได้จากการคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่าวิกฤต ซึ่งวิธีนี้จะเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันมา แต่ปัจจุบันจะใช้อีกวิธีหนึ่งในการสรุปผล โดยการใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ทางสถิติมาใช้ในการพิจารณาสมมติฐาน ซึ่งจะเป็นการพิจารณาค่า P-Value จากกลุ่มตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับระดับนัยสำคัญ α ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกต่อการสรุปผลมากกว่าวิธีก่อนหน้า โดยไม่ต้องเปิดตารางในการหาค่าวิกฤตมาเปรียบเทียบ [9]

2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน [14]

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานที่มีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มขึ้นไป โอยการนำวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ได้แบ่งค่าความแปรปรวนของข้อมูลออกซึ่งเป็นสาเหตุของความแปรปรวน จึงนำมาทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวสถิติ F (F-Statistic) ในการทดสอบ โดยมีเงื่อนไขว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์นั้นต้องเป็นกลุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ค่าความแปรปรวนเท่ากันและเป็นอิสระต่อกัน ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแบ่งความแปรปรวนของข้อมูลได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแปรปรวนระกว่างกลุ่ม (Between Group Sum of Square: SSB) เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดจากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างในแต่ละกลุ่มนั้นมีความแต่ต่างจากค่าเฉลี่ยรวม

$$\text{SSB} = \sum_{i=1}^{k} n_i \left(\overline{x_i} - \overline{x}\right)^2 \tag{2.5}$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square: SSE) หรือเรียกว่าความคลาดเคลื่อน (Error of Square) เป็นการพิจารณาความแปรปรวนที่เกิดขึ้นภายในกลุ่ม ของแต่ละกลุ่ม ซึ่งไม่ทราบว่าความแปรปรวนเกิดขึ้นจากสาเหตุใด

$$\text{SSE} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(x_{ij} - \overline{x_i}\right)^2 \tag{2.6}$$

ความแปรปรวนรวม (Total Sum of Square: SST) เป็นการพิจารณาความแปรปรวนค่าที่รวมกันของ SSB และ SSE

$$\text{SST} = \sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{n_i}\left(x_{ij} - \overline{x}\right)^2 \tag{2.7}$$

หรือ $$\text{SST} = \text{SSB} + \text{SSE} \tag{2.8}$$

ผลรวมของกำลังสองเฉลี่ย (Mean of square: MS) เป็นค่าที่วิเคราะห์ความแปรปรวนที่สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของผลรวมกำลังสอง (Sum of Square: SS) และองศาอิสระ (df)

$$\text{MS} = \frac{SS}{df} \tag{2.9}$$

ตัวสถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ $F = \frac{MSB}{MSE}$ สามารถคำนวณได้จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

ความแปรปรวน (Source of variation)	องศาอิสระ (df)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square: SS)	ผลรวมของกำลังสองเฉลี่ย (Mean of square: MS)	ตัวสถิติ (F)
ระหว่างกลุ่ม (Treatments)	k – 1	SSB	MSB = $\frac{SSB}{k-1}$	F = $\frac{MSB}{MSE}$
ภายในกลุ่ม (Error)	n - k	SSE	MSE = $\frac{SSE}{n-k}$	
รวม	n - 1	SST		

2.8 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) [10]

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการใช้วิธีการทางสถิติมาศึกษาระหว่างตัวแปรตั้งแต่สองตัวขึ้นไป ได้แก่ ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตอบสนอง (Dependent Variable) เพื่อใช้ในการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตอบสนองจากตัวแปรอิสระ นอกจากบอกค่าสัมประสิทธ์ความสัมพันธ์ (r^2) แล้วยังแสดงสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตอบสนองด้วย [11] การวิเคราะห์การถดถอยสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

2.8.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ โดยมีตัวแปรอิสระ 1 ตัว และตัวแปรตาม 1 ตัว อีกทั้งยังสามารถนำค่าของตัวแปรอิสระมาพยากรณ์ตัวแปรตอบสนองได้พร้อมทั้งสามารถอธิบายตัวแปรตอบสนองว่ามีผลมากน้อยเพียงใด ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon \qquad (2.10)$$

โดยที่ Y คือ ค่าของตัวแปรตอบสนอง

X คือ ค่าของตัวแปรอิสระ

α คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย โดยที่ α จะเป็นจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β คือ ค่าสัมประสิทธ์ถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระ (X) โดยที่ค่า β จะแสดงอัตรการเปลี่ยนแปลงค่าของ x และ y

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ระหว่างค่า Y

2.8.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหูคูณ (Multiple Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ โดยมีตัวแปรอิสระหลายตัวและตัวแปรตอบสนอง 1 ตัว เป็นการศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + ... + \beta_k X_k + \varepsilon \qquad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ Y คือ ค่าของตัวแปรตอบสนอง

X_i คือ ค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว

K คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

β_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย โดยที่ β_0 จะเป็นจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β_1 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ถดถอย (Regression Coefficient) ของตัวแปรอิสระ (X_i) โดยที่ค่า β_1 จะแสดงอัตรการเปลี่ยนแปลงค่าของ x_i และ y

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or Residual) ระหว่างค่า Y

2.8.3 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นค่าที่ใช้ในการตัดสินใจของสมการถดถอย (Regression Model) ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ และเป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจากสมการดังนี้

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} \tag{2.12}$$

โดยที่ค่า R^2 จะมีค่าระหว่าง 0 - 100% ของการผันแปรของตัวแปรตอบสนองเป็นผลเนื่องมาจากการมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับบตัวแปรอิสระ

2.9 วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) [10]

วิธีพื้นผิวตอบสนอง (RSM) เป็นการนำเอาเทคนิคทางสถิติและคณิตศาสตร์มาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน ซึ่งมีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ตัวแปรตอบสนองที่สนใจจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆตัว และมีความต้องการที่จะหาระดับของตัวแปรที่ 1 (x_1) ตัวแปรที่ 2 (x_2) ที่จะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง Y สามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = \int(x_1, x_2) + \varepsilon \tag{2.13}$$

โดยที่ ε คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบสนอง (y) ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดให้ E(y) = $f(x_1, x_2) = \eta$ ดังนั้นจึงเขียนสมการของพื้นผิวได้ดังนี้

$$\eta = f(x_1, x_2) \tag{2.14}$$

โดยทั่วไปพื้นผิวตอบสนองจะอยู่ในรูปแบบของกราฟ โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อจะทำให้มองเนรูปร่างได้ดียิ่งขึ้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะนิยมพล็อตเป็นเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวตอบสนอง

ปัญหาส่วนมากเกี่ยวกับวิธีพื้นผิวตอบสนองจะไม่ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและตัวแปรอิสระ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงตัวแปรตอบสนองและเซ็ตของตัวแปรอิสระ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ฟังก์ชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำๆที่อยู่ภายใต้เขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ในกรณีที่แบบจำลองของผลคำตอบมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับตัวแปรอิสระจะเรียกว่า แบบจำลองเชิงเส้นตรง ดังสมการต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad (2.15)$$

แต่ถ้าในกรณีที่แบบจำลองของผลคำตอบมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรงกับตัวแปรอิสระ หรือมีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้อง จะแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_j x_i + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} x_i^2 + \sum\sum_{i<j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon_i \quad (2.16)$$

2.10 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tomer Arbeli และคณะ [29] ได้อธิบายไว้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจากยางธรรมชาติส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นวัตถุดิบเชิงกลยุทธ์สำหรับใช้เป็นผลิตภัณฑ์มากกว่า 40,000 รายการ รวมถึงผลิตเพื่อใช้ในทางการแพทย์ เช่น ถุงมือยาง โดยอุตสาหกรรมถุงมือยางเป็นอุตสาหกรรมที่มีอัตราการเติบโตเพิ่มขึ้นจาก 8% ถึง 10% ต่อปีรองจากอุตสาหกรรมรถยนต์ และมีการคาดการณ์ว่าความต้องการของตลาดสำหรับผลิตภัณฑ์ถุงมือยางที่ผลิตจากยางไนไตรล์จะมีแนวโน้มของการผลิตที่เพิ่มขึ้นซึ่งแต่เดิมถุงมือยางถูกผลิตจากยางธรรมชาติ ซึ่งในช่วงปี 2017 ถึงปี 2023 จะมีอัตราการเติบโตต่อปีคาดว่าอยู่ที่ 7.12% หรือคิดเป็นมูลล่าถึง 500 ล้านดอลลาร์สหรัฐภายในปี 2023

อุดม ลพสุนทร [9] ได้ศึกษากระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบี มีจุดประสงค์เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีการใช้เครื่องมือทางสถิติได้แก่ แผนภูมิพาเรโตมาจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผลในการหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดของเสีย พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นคือการลัดวงจรจากกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรี จากนั้นจึงออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการพิมพ์โลหะบัดกรี พบว่า แรงกดในการพิมพ์โลหะบัดกรี (X_1) ที่ 8.75 กิโลกรัม, ระยะห่างของการถอดแม่พิมพ์ (X_2) ที่ 2.0 มิลลิเมตร และระดับวางชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ (X_3) ที่ 0.0 มิลลิเมตร จากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเดิมลดลง 61.19%

มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ [17] ได้ศึกษาเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป เพื่อลดของเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงแทร็กเตอร์ โดยมีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยคือ กระแสไฟฟ้า อัตราการป้อนลวด และความเร็วในการเดินเชื่อม มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง และวิเคราะห์ผลโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer หลังจากการปรับปรุง พบว่า ของเสียลดลง 5.08% คิดเป็นมูลค่า 771,750 บาท/ปี

จิตรลดา เลิศกิตติกุล และคณะ [18] ได้ศึกษาผลของปัจจัยต่อความเสียหายของบรรจุภัณฑ์หลอดไฟฟลูออเรสเซนต ก่อนทำการศึกษาพบปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ทั้งหมดคิดเป็นร้อยละที่ 8.43 จึงทำการคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย ได้แก่ ชนิดของลอนกระดาษลูกฟูก (X_1), การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก (X_2), อุณหภูมิหม้อกาว (X_3), แรงดันลมหม้อกาว (X_4) และระยะการเปลี่ยนไส้กรองหม้อกาว (X_5) วิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k) โดยทำการคัดกรองปัจจัยดังกล่าว ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัย X_1, X_2 ไม่มีผลต่อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหายของบรรจุภัณฑ์ ขณะที่ปัจจัย X_3, X_4 และปัจจัย X_5 มีผลต่อสิ่งที่ศึกษาจึงทำการวิเคราะห์จึงสรุปว่า อุณหภูมิหม้อกาวที่ 170 องศาเซลเซียส, แรงดันลมหม้อกาวที่ระดับ 1.2 บาร์ และระยะการเปลี่ยนไสกรองหม้อกาวที่ 1 สัปดาห์ นำระดับปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการผลิตร่วมกับปัจจัยที่เหลือ (X_1 และ X_2) พบว่า สามารถลดปริมาณของเสียบรรจุภัณฑ์จากเดิมที่ร้อยละ 8.43 ลดลงเหลือร้อยละ 1.8 ซึ่งคิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงประมาณ 9 ล้านบาทต่อปี

เอกอร ควชะกุล [19] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการทำให้ถุงมือยางลื่นอย่างถาวรโดยไม่ต้องใช้แป้งในการหล่อลื่นถุงมือ ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา คือ ระยะเวลาการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี, ความเข้มข้นของน้ำคลอรีน และเวลาการเกิดปฏิกิริยา ผลการวิเคราะห์หาค่าสภาวะที่เหมาะสมพบว่า ที่ระยะเวลาการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี 6-7 วัน, , ความเข้มข้นของน้ำคลอรีนที่ร้อยละ 0.07 และเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่ 10 นาที ระดับปัจจัยดังกล่าวให้คุณสมบัติพื้นผิวของถุงมือไม่เหนียวและการดึงยางอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เจษฎา ทิพย์มณเฑียร [20] ทำการปรับปรุงคุณภาพในการบวนการบรรจุและปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์กรณีการผลิตซอสผลไม้ โดยมีจุดประสงค์ในการเพิ่มความแข็งแรงส่วนของรอยปิดผนึกบรรจุภัณฑ์เพื่อลดความเสี่ยงการเกิดรอยรั่วบรรจุภัณฑ์ต่ออันตรายจากจุลินทรีย์ ซึ่งมีปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลต่อกระบวนการทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยการปรับระยะกด (X_1), ปัจจัยอุณหภูมิแขนกดแนวนอน (X_2), ปัจจัยความเร็วการป้อนฟิล์ม (X_3) และปัจจัยอุณหภูมิซอสขณะบรรจุ (X_4) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง Factorial Design แบบ 24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัย X_2, X_3 และ X_4 มีผลต่อความแข็งแรงส่วนของรอยปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ (α=0.05) ทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนองได้ค่าระดับปัจจัยอุณหภูมิแขนกดแนวนอนที่ 142 องศาเซลเซียส, ค่าระดับปัจจัยความเร็วการป้อนฟิล์มที่ 18 รอบต่อนาที และค่าระดับปัจจัยอุณหภูมิซอสขณะบรรจุที่ 79 องศาเซลเซียส นำค่าระดับปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการผลิตสามารถลดความเสี่ยงการเกิดรอยรั่วบรรจุภัณฑ์ต่ออันตรายจากจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเป็น 24.06 เปอร์เซ็นต์

ชุติมา ราชพิทักษ์ [21] ทำการกำหนดเป้าหมายในการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตแมชชินนิ่งที่ 60 เปอร์เซ็นต์ จากการสำรวจพบปัญหาเกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงานและพิจารณาตัวแปรที่มีผลในกระบวนการผลิตมาคัดกรองปัจจัยเพื่อหาสาเหตุที่มีผลต่อจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระกระบวนการผลิตดังกล่าวโดยวิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k) พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของเสีย ได้แก่ วิธีการส่งชิ้นงานระหว่างกระบวนการ เวลาในการเปาเศษกลึงและปริมาณน้ำยาหล่อเย็น จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูป (Full Factorial Design) และวิเคราะห์หาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) ที่ส่งผลให้จำนวนของเสียมีปริมาณที่ลดลง คือ วิธีการวางชิ้นงานระหว่างกระบวนการในระดับที่ 1, เวลาในการเปาเศษกลึงที่ 15 วินาที และปริมาณน้ำยาหล่อเย็นที่ 160 ลิตร ที่ระดับปัจจัยดังกล่าวสามารถลดจำนวนของเสียได้ 4 ชิ้นจากการผลิตทั้งหมด 100 ชิ้น ทำการทดลองซ้ำในค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสามารถลดปริมาณของเสียได้ถึง 79.46 % ของจำนวนของเสียทั้งหมด

ทวี บุญกำเนิด [22] ได้ศึกษาการลดปริมาณของเสียอุตสาหกรรมผลิตถุงมือแพทย์ จากการสำรวจกรณีการฉีกขาดของถุงมือในขั้นตอนการถอดถุงมือแพทย์ออกจากเบ้าทำให้เกิดของเสียมากที่สุด ทำการคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียดังกล่าว ได้แก่ คน, เครื่องจักร, วัตถุดิบและวิธีการ โดยพบว่าปัจจัยเครื่องจักรมีผลต่อการเกิดของเสียการผลิตถุงมือแพทย์มากที่สุด หลังจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการเปรียบเทียบอัตราการเกิดของเสียก่อนการปรับปรุงในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม – กันยายน 2552 พบอัตราของเสียเฉลี่ย 18.21 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ – มิถุนายน 2552 พบอัตราของเสียเฉลี่ย 2.56 เปอร์เซ็นต์

รดามณี อิทธิพรม และคณะ [23] ทำการปรับปรุงคุณภาพขวดน้ำดื่มเพื่อมุ่งเน้นการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตขวดพลาสติก จากการวิเคราะห์พบปัญหาฟองอากาศก่อนการขึ้นรูปขวดน้ำดื่มเป็นปัญหาหลักที่ทำให้ขวดเป็นริ้วรอย วิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k) เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเม็ดพลาสติก ผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการอบเม็ดพลาสติกมีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเกิดของเสียในการผลิต และได้ค่าสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบในระดับสูง ผลการปรับค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเม็ดพลาสติกสามารถลดของเสียจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 0.248 ลดลงเป็นร้อยละ 0.18

จตุรวิทย์ คงเขียว [24] ทำการศึกษาการลดของเสียการผลิตแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ วิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k) ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาต่อการลดของเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ แรงกดและความเร็วในการปาดแผ่นวงจร แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยระดับปัจจัยแรงกด คือ 8, 10 และ 12 kgf/cm2 และระดับปัจจัยความเร็วในการปาดแผ่นวงจร คือ 30, 45 และ 60 mm/s ทำการทดสอบ 2 ครั้งต่อเงื่อนไข (18 runs) ชิ้นงานทดสอบ 1800 ชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้แรงกดที่ 10 kgf/cm2 และความเร็วในการปาดแผ่นวงจรที่ 60 mm/s เมื่อนำค่าระดับปัจจัยมาใช้ในกระบวนการผลิตจริงสามารถลดจำนวนของเสียในกระบวนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพิจารณาจากค่า p-value ที่น้อยกว่า 0.05 จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดปริมาณของเสียได้อย่างมาก

บุญชัย แซ่สิ้ว และคณะ [25] ได้ศึกษาระดับปัจจัยในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสมได้แก่ ความเร็วรอบ, อุณหภูมิ, แรงกดและเวลาในการซีล เพื่อลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุซองขนมขบเคี้ยว วิเคราะห์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปัจจัยความเร็วรอบที่ 60 รอบต่อนาที, อุณหภูมิที่ 157 องศาเซลเซียส, แรงกดที่ 6 bar และเวลาในการซีลที่ 0.5 วินาที เป็นค่าระดับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสม เมื่อนำค่าดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการผลิตพบว่า สามารถลดของเสียในกรณีซองรั่วจากเดิม 855,571.72 บาท ลดลงเหลือ 596,482.21 บาท หรือคิดเป็นอัตราลดลงที่ร้อยละ 30.29

วิทยา สุมะลิ [27] ได้ศึกษากระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ มีจุดประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียโดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและเพื่อได้ซึ่งปัจจัยมาใช้ในการออกแบบการทดลอง 5 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง (X_1), องศาของมุมแท่นรอง (X_2), องศาของทิศทางแผ่นฟิล์มหลังจากการแยกจากกรอบยึด (X_3), ระยะกรอบที่ยึดออกจากแท่นรองเพื่อรอหัวจับหยิบ (X_4) และระยะความสูงที่จับกรอบยึด (X_5) จากนั้นทำการทดลองแบบแพ็คเก็จ เบอร์แมน (Plackett-Burman) เพื่อกรองปัจจัย พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเสียรูปของกรอบยึดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง (X_1) และระยะความสูงกรอบยึด (X_5) โดยนำทั้งสองปัจจัยมาพิจรณาในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกำหนดระดับแต่ละปัจจัย 3 ระดับ คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง (X_1) ที่ระดับ 100.0 mm/s, 120.0 mm/s และ 140.0 mm/s ระยะความสูงที่จับกรอบยึด (X_5) ที่ระดับ 0.025 mm, 0.035 mm และ 0.045 mm ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของกรอบยึดออกจากแท่นรอง (X_1) เท่ากับ 140.0 mm/s และระยะความสูงที่จับกรอบยึด (X_5) เท่ากับ 0.045 mm ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากการเสียรูปของกรอบยึดจากเดิม 8.65% เหลือเพียง 3.29%

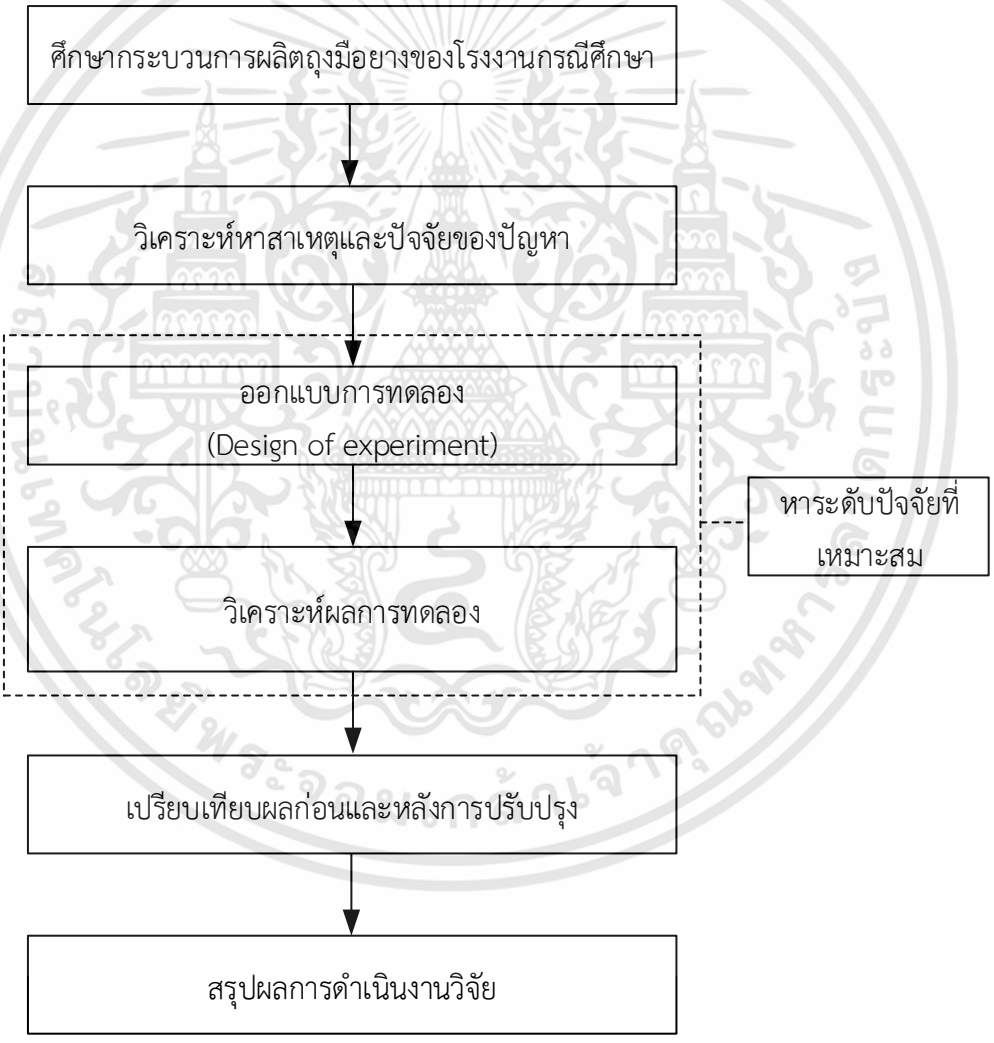
2.11 บทสรุปจากการศึกษาทฟษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการลดของเสียหรือข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต จะเห็นได้ว่า การใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดของเสีย นอกจากนี้การออกแบบการทดลองเป็นอีกวิธีที่นิยมนำมาใช้ในงานวิจัยสำหรับการลดหรือจำกัดของเสียเพื่อการได้มาของผลคำตอบที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยประหยัดเวลา ผลคำตอบที่ได้นั้นมีความน่าเชื่อถือสูงและยังสามารถนำไปปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆของกระบวนการได้ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป และวิเคราะห์ผลคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยผลคำตอบคือ เพื่อให้ได้ค่าจำนวนของถุงมือยางรั่วที่น้อยที่สุดในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง และลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา และเก็บข้อมูลปัญหาของการเกิดของเสียของถุงมือยาง จากนั้นทำการวิเคราะห์และกำหนดสาเหตุของปัญหาที่มีผลต่อการเกิดของเสีย เพื่อที่จะนำไปสู่การออกแบบการทดลองและหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1 และรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังนี้



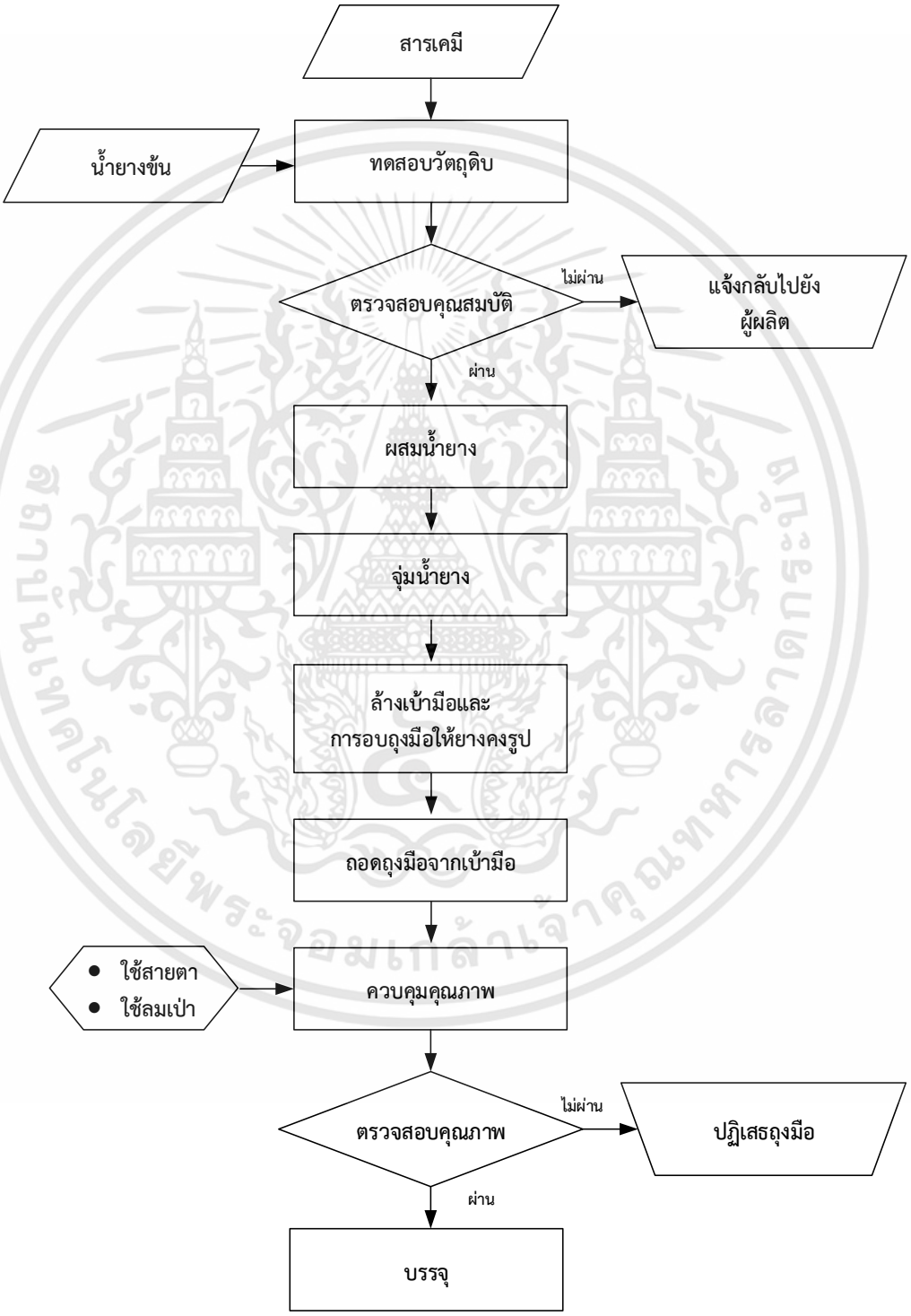
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยางและลักษณะของปัญหากรณีศึกษา

3.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยาง

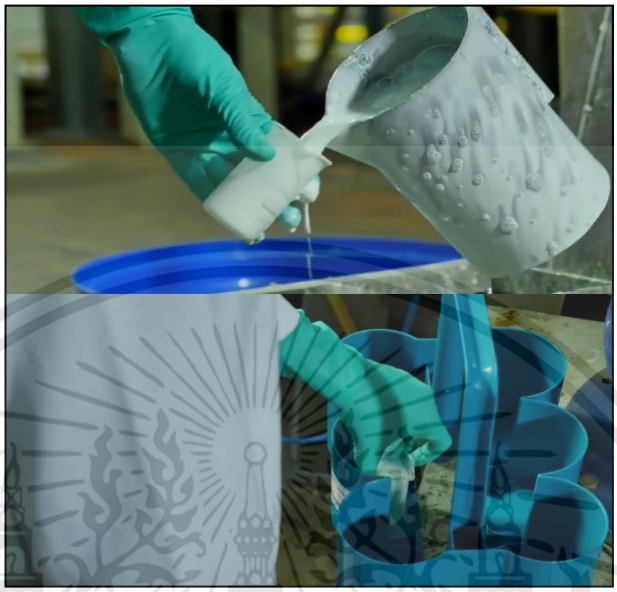
ถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการจุ่ม (Dipping Process) เพื่อให้ขึ้นรูปโดยใช้เบ้ามือ (Former) เป็นแม่แบบ ในกระบวนการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษามีขั้นตอนในการผลิตดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการผลิตถุงมือยางของโรงงานกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทดสอบวัตถุดิบ (Raw Material Testing) เป็นการจัดเตรียมวัตถุดิบทั้งหมดได้แก่ น้ำยาง สารเคมีต่างๆ เพื่อทดสอบคุณภาพของวัตถุดิบ (การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี) โดยได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียดก่อนจะส่งไปยังขั้นตอนของการผสมน้ำยาง



รูปที่ 3.3 การทดสอบวัตถุดิบ [26]

2. การผสมน้ำยาง (Compounding) เป็นการผสมน้ำยางและสารเคมีต่างๆ ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา หลังจากผสมแล้วจะตรวจสอบคุณภาพอีกครั้งก่อนจะส่งไปยังขั้นตอนของถัดไป

รูปที่ 3.4 การผสมน้ำยาง [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การจุ่มน้ำยาง (Dipping) ในขั้นตอนของการจุ่มนั้นจะใช้เบ้ามือ (Former) เป็นแบบในการผลิตถุงมือยาง ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก โดยการล้างเบ้ามือหรือทำความสะอาดเบ้ามือ โดยใช้สารละลายกรดและด่างในการทำความสะอาด เพื่อทำการกำจัดฝุ่นและสารปนเปื้อนต่างๆ ที่ติดอยู่บนเบ้ามือ แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดและอบเบ้ามือให้แห้งพอหมาดๆ ก่อนจะถูกลำเลียงไปยังขั้นตอนการจุ่มน้ำยาง โดยการนำเบ้ามือมาจุ่มในสารช่วยจับ (Coagulant) และจุ่มถังน้ำยางที่ได้เตรียมไว้ก่อนหน้าและนำไปอบเพื่อให้ขึ้นรูปฟิล์มถุงมือ

รูปที่ 3.5 การล้างเบ้ามือด้วยสารละลายกรดและด่าง [26]

รูปที่ 3.6 การขัดทำความสะอาดเบ้ามือ[26]

รูปที่ 3.7 การล้างทำความสะอาดเบ้ามือด้วยน้ำร้อน [26]

รูปที่ 3.8 การอบเบ้ามือเบื้องต้น [26]

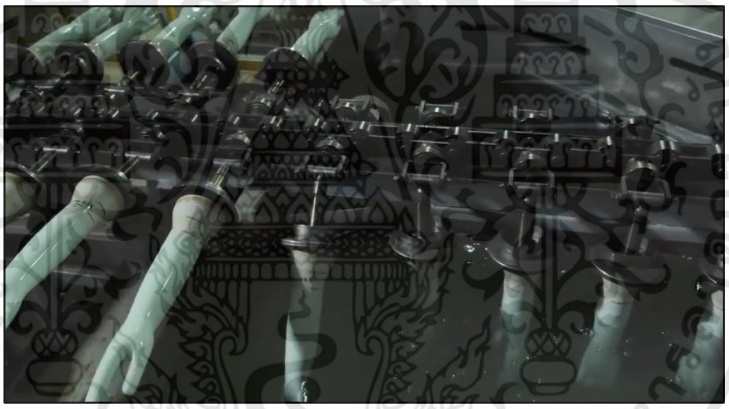
รูปที่ 3.9 การจุ่มเบ้ามือในสารช่วยจับ (Coagulant) [26]

รูปที่ 3.10 การจุ่มเบ้ามือในน้ำยาง [26]

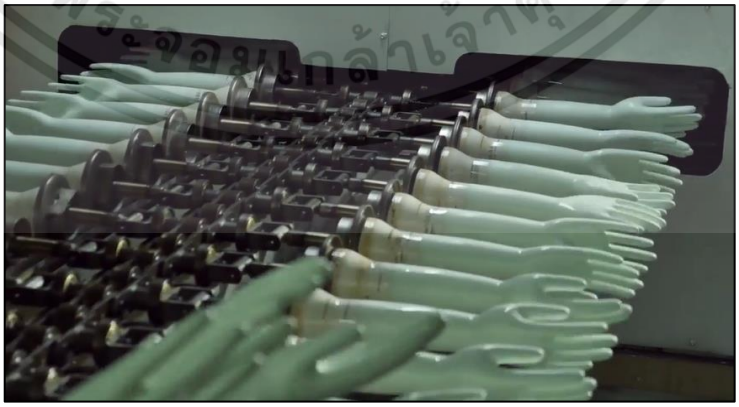
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การอบถุงมือยาง [26]

4. การล้างเบ้ามือและการอบถุงมือให้ยางคงรูป (Leaching and Vulcanizing) เป็นการล้างถุงมือยางด้วยน้ำร้อนด้วย เพื่อชะล้างสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อยางและลดปริมาณโปรตีนในถุงมือ ซึ่งจะทำหลังจากการขึ้นรูปถุงมือแล้ว จากนั้นถุงมือยางจะถูกลำเลียงไปยังตู้อบเพื่อทำการอบให้เนื้อยางสุกและแห้งที่อุณหภูมิ 150 – 160 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.12 การล้างถุงมือยาง [26]



รูปที่ 3.13 การอบถุงมือยางขั้นสุดท้าย [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การถอดถุงมือจากเบ้ามือ (Stripping) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในสายการผลิต ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้พนักงานในการถอดถุงมือ

รูปที่ 3.14 การถอดถุงมือยางจากเบ้ามือ [26]

6. การควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นการสุ่มตรวจ โดยการใช้สายตา ใช้ลมเป่าให้ถุงมือโป่ง ในการตรวจสอบรอยรั่วหรือรอยฉีกขาด ความหนาของถุงมือยางให้ตรงตามข้อกำหนดของโรงงาน

รูปที่ 3.15 การตรวจสอบคุณภาพถุงมือยาง [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การบรรจุ (Packing) เป็นการบรรจุถุงมือยางลงกล่องเพื่อรอจัดส่งให้ลูกค้า

รูปที่ 3.16 การบรรจุถุงมือยาง [26]

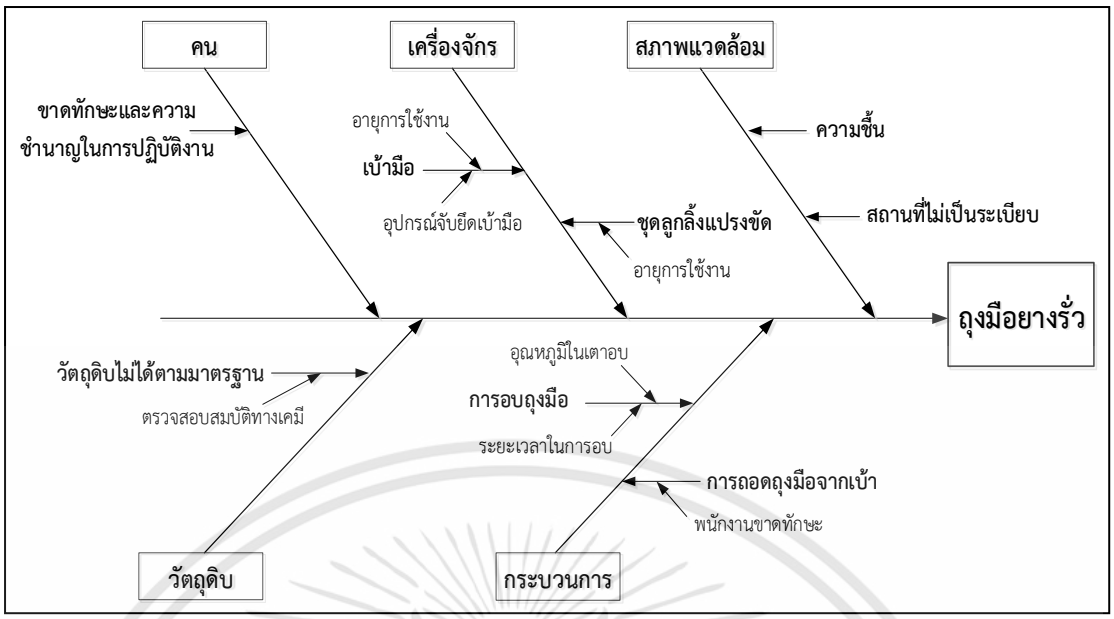
3.1.2 ลักษณะการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง

จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิต พบว่าของถุงมือยางมีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น มีรอยขาดรอยรั่ว มีสิ่งสกปรกเจือปน มีรอยหยดที่บริเวณปลายนิ้ว ซึ่งจะพบมากในถุงมือขนาด “M” ซึ่งได้รับการปฏิเสธจากลูกค้ามากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกขนาดของถุงมือนี้มาศึกษากระบวนการผลิตเพื่อนำมาแก้ไขเป็นอันดับแรก จากจำนวนของเสียที่กล่าวมาในตารางที่ 1.2 และตารางที่ 1.3 จากบทที่ 1 นำข้อมูลมาจัดเรียงลำดับของปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่า สามารถจัดเรียงลำดับตามลักษณะได้ดังนี้ ลำดับที่ 1 คือ ปัญหาถุงมือยางรั่ว ลำดับที่ 2 คือ ถุงมือยางสกปรก จากการใช้แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียตามลำดับของปัญหา ดังรูปที่ 1.1 ในบนที่ 1 ทางผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาถุงมือยางรั่วมาปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต

3.2 วิเคราะห์หาสาเหตุและกำหนดปัจจัยของปัญหา

ในการหาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่วนั้น ทางผู้วิจัยจึงศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหานี้ โดยทำการปรึกษาและระดมความคิดเห็นจากทีมงานและผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ได้แก่ ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายงานผลิต โดยนำเครื่องมือทางสถิติที่มาใช้ในคือ แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเบื้องต้น เพื่อพิจารณาว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่เกี่ยวข้อง และกำหนดระดับปัจจัยในการออกแบบการทดลอง โดยพิจารณาตามหลัก 4M 1E คือ คน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) กระบวนการ (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) พบว่าปัญหาหลักคือ ถุงมือยางรั่ว จึงนำปัญหานี้มาวิเคราะห์ แสดงดังรูปที่ 3.17 ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาและพิจารณาเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิตและขั้นตอนที่สามารถนำมาแก้ไขได้ โดยไม่ได้พิจารณาในส่วนของขั้นตอนทางเคมี เนื่องจากเป็นข้อมูลเฉพาะของบริษัทไม่สามารถนำมาเผยแพร่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของการเกิดถุงมือรั่ว

คน (Man)

- พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการปฏิบัติงาน เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแต่ละสถานีงาน พนักงานไม่สามารถแก้ไขได้ทันทีหรือไม่สามารถแก้ปัญหาได้ถูกจุด

วัตถุดิบ (Material)

- การเก็บรักษาไม่ถูกต้อง ทำให้วัตถุดิบเสียหาย ไม่สามารถนำมาใช้ได้

- วัตถุดิบไม่ได้ตามมารตฐาน เมื่อตรวจสอบวัตถุดิบทางเคมีแล้วไม่ได้ตามมารตฐานที่กำหนดจึงไม่สามารถนำมาใช้งานได้

เครื่องจักร (Machine)

- เบ้ามือ เนื่องจากกระบวนการผลิตถุงมือยางเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง อายุการทำงานของอุปกรณ์จึงเสื่อมตามการใช้งาน กรณีเบ้ามือเป็นอุปกรณ์สำคัญในการผลิตถุงมือยางหากชำรุดจะส่งผลให้ถุงยางมีรอยตำหนิได้ จึงจำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุง

- ชุดลูกกลิ้งแปรงขัด อุปกรณ์เสื่อมสภาพตามการใช้งาน จึงทำให้ประสิทธิภาพของขั้นตอนการทำความสะอาดลดลง เมื่อนำเบ้ามือไปจุ่มน้ำยางอาจทำให้ถุงมือมีรอยตำหนิได้

กระบวนการ (Method)

- อุณหภูมิของเตาอบ เป็นขั้นตอนสุดท้ายในกระบวนการ หากใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปถุงมือจะไม่ขึ้นรูป แต่ถ้าหากอุณภูมิสูงเกินไปถุงมือก็จะขาดได้

- ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ ในการอบถุงมือนั้น เวลาในการอบก็เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อถุงมือยาง หากใช้เวลานานเกินไปถุงมือก็จะรั่วหรือฉีกขาดได้

- การถอดถุงมือจากเบ้ามือ หากขั้นตอนนี้พนักงานขาดทักษะ อาจทำให้ถุงมือเสียหายได้

สภาพแวดล้อม (Environment)

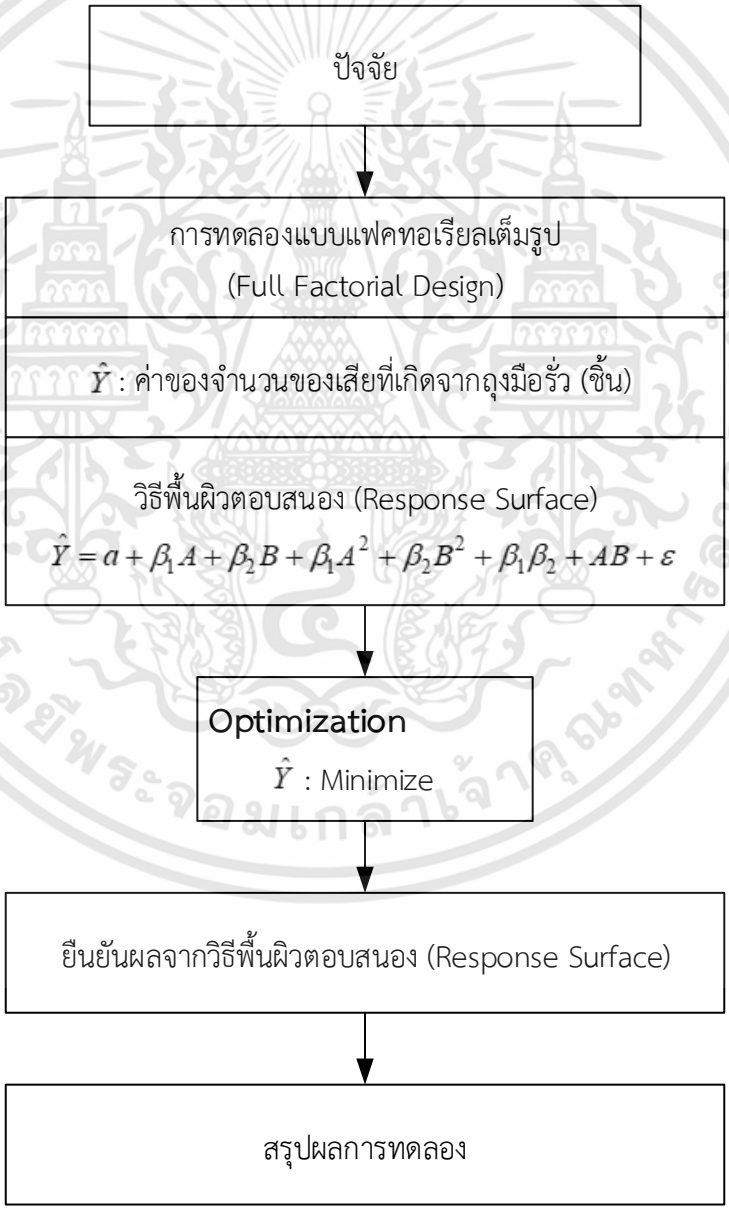
- ความชื้น เนื่องจากสถานที่ปฏิบัติงานเป็นแบบเปิด จึงทำให้มีความชื้น ฝุ่นละออง ทำให้ส่งผลเสียต่อชิ้นงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สถานที่ทำงานไม่เป็นระเบียบ หากสถานที่ไม่มีระเบียบ อาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและความเสียหายต่อชิ้นงานได้

3.3 การออกแบบการทดลอง

หลังจากที่การพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย (Screening Factor) ที่มีผลต่อการเกิดถุงมือรั่ว โดยเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) คือ การออกแบบที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้กำหนดระดับของปัจจัย 5 ระดับ การทำซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันจำนวน 4 ครั้ง โดยมีขั้นตอนการออกแบบการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.5 จากนั้นทำการทดลองตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.18 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization)

หลังจากทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 17 โดยการวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลให้จำนวนถุงมือยางรั่วในกระบวนการผลิตมีจำนวนน้อยที่สุด จากนั้นนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำการทดลองจริง

3.5 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง

หลังจากนำค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้ในกระบวนการผลิตจริง จากนั้นผู้วิจัยทำการตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการเก็บตัวอย่างถุงมือยางมาตรวจสอบลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นพร้อมบันทึกข้อมูลของถุงมือยาง จำนวนถุงมือรั่ว และของเสียจากลักษณะอื่นๆ จากนั้นนำผลที่ได้มาสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือยาง และลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น จากขั้นตอนการดำเนินงานและเก็บข้อมูลที่ได้กล่าวมาในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือคุณภาพ เพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย พบปัญหาคือ การเกิดถุงมือรั่วในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปเพื่อวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งในบทนี้จะแสดงถึงผลของการดำเนินงานวิจัยตามขั้นตอนดังนี้

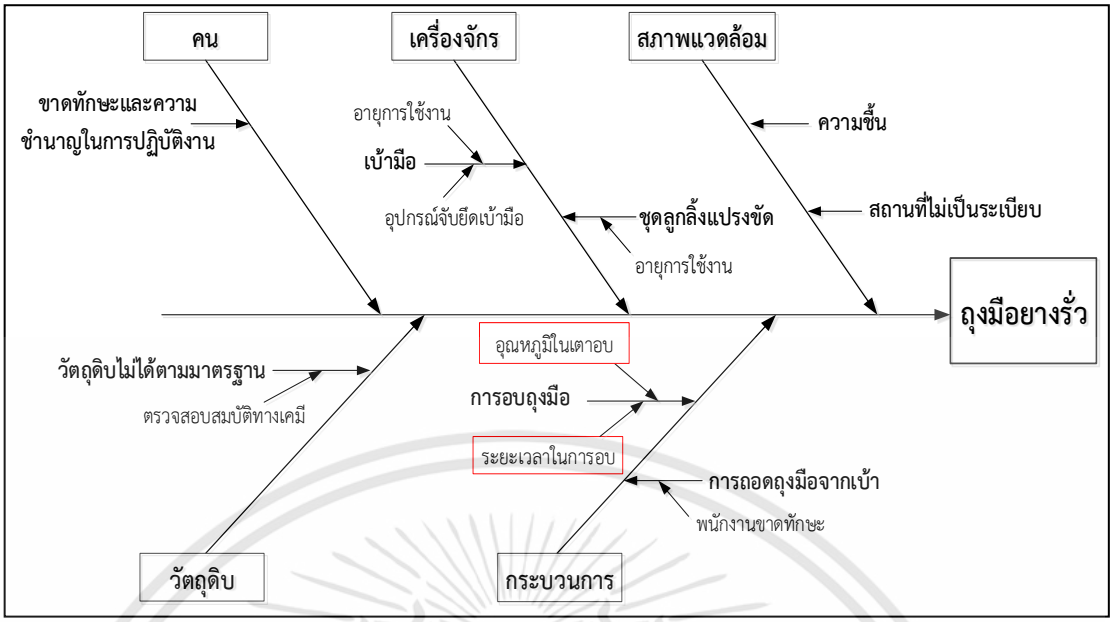
4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อการกำหนดปัจจัยของปัญหา

จากการพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดถุงมือรั่วโดยการระดมความคิดเห็นจากฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายงานวิศวกรรม โดยใช้หลักการ 4M1E คือ คน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) กระบวนการ (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) มามาวิเคราะห์ร่วมกับแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัญหาถุงมือยางรั่ว

4.1.1 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

ในการเลือกปัจจัยต่างๆ มาพิจารณาโดยผ่านการระดมความคิดเห็นจากทีมงานและผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ได้แก่ ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายงานวิศวกรรม พบว่า ปัจจัยที่สามารถตัดทิ้งได้ ได้แก่ พนักงานขาดประสบการณ์และไม่ได้รับการฝึกอบรมเป็นปัจจัยที่สามารถตัดทิ้งได้ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ต้องใช้เวลาในการฝึกอบรมหรือปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน เบ้ามือและชุดลูกกลิ้งแปรงขัดขาดการบำรุงรักษา เสื่อมสภาพตามการใช้งาน ปัจจัยนี้จำเป็นต้องมีการลงทุนเพื่อปรับเปลี่ยนหรือซื้ออุปกรณ์ใหม่ วัตถุดิบก็เป็นอีกปัจจัยที่ต้องตัดทิ้ง หากตรวจสอบแล้วคุณสมบัติของวัตถุดิบไม่ได้มาตรฐานก็ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ อีกทั้งขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีตามเงื่อนไขของโรงงาน ทางผู้วิจัยจึงไม่สามารถที่จะเข้าไปทำการศึกษาได้ ในส่วนของสภาพแวดล้อมคือความชื้นและสถานที่ เนื่องจากสถานที่ที่มีอยู่อย่างจำกัดหากมีการเปลี่ยนแปลงต้องใช้เงินลงทุนและระยะเวลาในการดำเนินปัจจัยนี้จึงไม่นำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงสาเหตุและผลของการเกิดถุงมือยางรั่วหลังจากผ่านการพิจารณาเบื้องต้น

จากการศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผลดังรูปที่ 4.1 โดยผ่านการระดมความคิดเห็นจากทีมงานและผู้ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงเลือกพิจารณาปัจจัยที่สามารถดำเนินการได้ทันทีและเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดถุงมือรั่วในกระบวนการผลิต 2 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยแรกคือ อุณหภูมิของเตาอบ โดยเตาอบที่ใช้ในการอบถุงมือนั้นจะให้ความร้อนโดยใช้แก๊ส ขั้นตอนนี้ควรมีการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม หากใช้อุณหภูมิต่ำเกินไปถุงมือจะไม่ขึ้นรูปแต่ถ้าหากอุณภูมิสูงเกินไปถุงมือก็จะรั่วได้ ปัจจัยที่สอง คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ ดังนั้นใช้เวลานานเกินไปถุงมือก็จะรั่วหรือฉีกขาดได้ แต่ถ้าใช้เวลาน้อยเกินไปเนื้อยางอาจจะไม่สุกจึงทำให้ถุงมือขาดได้

4.1.2 การกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

หลังจากการศึกษากระบวนการผลิตและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว ทางผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลองและกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลองปัจจัยละ 5 ระดับ [5], [15] ดังนี้

- การกำหนดระดับปัจจัยของอุณหภูมิของเตาอบในการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 80-120 องศาเซลเซียส

- การกำหนดระดับปัจจัยของเวลาในการอบในการทดลอง มีค่าอยู่ระหว่าง 28-32 นาที

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย					หน่วย
A: อุณหภูมิของเตาอบ (Temp)	80	90	100	110	120	°C
B: เวลาในการอบ (Time)	28	29	30	31	32	นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยได้ครบแล้ว จากนั้นทำการทดลองตามข้อมูลที่กำหนด ซึ่งในแต่ละการทดลองจะมีจำนวนถุงมือยาง 1,280 ชิ้น/รอบการผลิต โดยมีการทดลองทั้งหมด 100 การทดลอง จำนวนของถุงมือยางรวมทั้งหมด 128,000 ชิ้น แสดงดังตารางที่ 4.2 และทำการเก็บผลจากการทดลองในส่วนของจำนวนถุงมือยางรั่วจากเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 จำนวนถุงมือยางที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนถุงมือยาง (ชิ้น/รอบการผลิต)	จำนวนในการทดลอง (ครั้ง)	จำนวนถุงมือยางทั้งหมด (ชิ้น)
1,280	100	128,000

4.1.3 การกำหนดผลตอบสนอง

ในการงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดผลตอบสนอง 1 ตัวแปร เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในการทดลอง คือ Y: ค่าของจำนวนถุงมือยางรั่ว (ชิ้น)

4.2 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

หลังจากพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่วแล้ว เนื่องจากปัจจัยที่นำมาพิจารณามีเพียง 2 ปัจจัย จึงทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป ซึ่งกำหนดผลตอบสนอง $\hat{Y}$ คือ จำนวนถุงมือยางรั่ว กำหนดปัจจัยที่1 คือ อุณหภูมิของเตาอบ (Temp, A) และปัจจัยที่ 2 คือ เวลาที่ใช้ในการอบ (Time, B) กำหนดระดับปัจจัย 5 ระดับ มีการทำซ้ำ 4 ครั้ง ทำการทดลอง 5x5x4 = 100 การทดลอง ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลจากการเก็บข้อมูลจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

StdOrder	Temp (°C)	Time (Mins)	Defects (1 ทำซ้ำ)	Defects (2 ทำซ้ำ)	Defects (3 ทำซ้ำ)	Defects (4 ทำซ้ำ)
1	80	28	32	36	35	34
2	80	29	29	34	33	32
3	80	30	27	30	30	28
4	80	31	29	27	30	28
5	80	32	23	27	25	26
6	90	28	27	32	30	31
7	90	29	25	30	29	27
8	90	30	22	25	26	27
9	90	31	25	20	24	24
10	90	32	23	21	24	19
11	100	28	27	30	29	29
12	100	29	23	22	24	27
13	100	30	18	20	22	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (ต่อ)

StdOrder	Temp (°C)	Time (Mins)	Defects (1 ทำซ้ำ)	Defects (2 ทำซ้ำ)	Defects (3 ทำซ้ำ)	Defects (4 ทำซ้ำ)
14	100	31	19	23	21	24
15	100	32	26	22	25	23
16	110	28	23	27	26	26
17	110	29	19	20	22	21
18	110	30	22	23	21	19
19	110	31	25	23	26	24
20	110	32	26	25	24	27
21	120	28	22	22	26	23
22	120	29	24	24	25	27
23	120	30	27	30	29	28
24	120	31	28	31	30	27
25	120	32	32	31	34	29

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป โดยนำค่าจำนวนถุงมือยางรั่วที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05) โดยมีการทดสอบสมมติฐานที่กำหนดไว้ดังนี้

สมมติฐานการวิจัยที่ใช้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว

1. H_0 : ปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) ไม่มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว
   H_1 : ปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว
2. H_0 : ปัจจัยเวลาในการอบ (Time) ไม่มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว
   H_1 : ปัจจัยเวลาในการอบ (Time) มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่ว

```
Analysis of Variance

Source                DF  Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
Model                 24  1385.7   57.736    17.66    0.000
  Linear               8   725.4   90.678    27.73    0.000
    Temp               4   567.8  141.940    43.41    0.000
    Time               4   157.7   39.415    12.05    0.000
  2-Way Interactions  16   660.2   41.265    12.62    0.000
    Temp*Time         16   660.2   41.265    12.62    0.000
Error                 75   245.2    3.270
Total                 99  1630.9
```

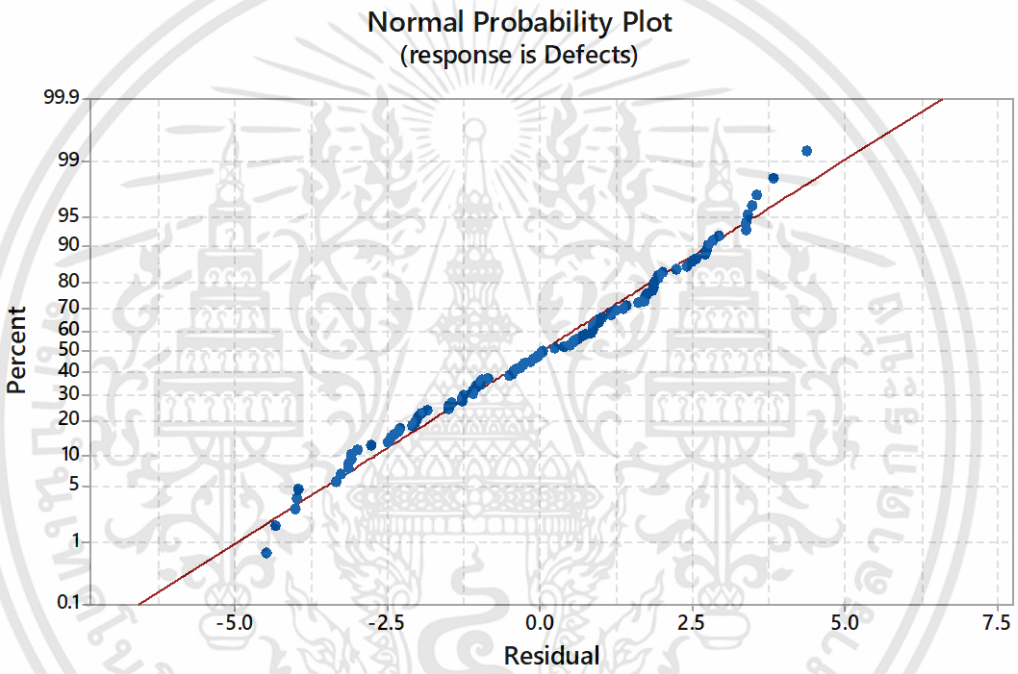
รูปที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังรูป 4.2 พบว่า ปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) และปัจจัยเวลาในการอบ (Time) มีผลต่อการเกิดถุงมือยางรั่วที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value น้อยกว่า 0.05) จึงสรุปได้ว่ามีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก และยังพบว่าปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) และปัจจัยเวลาในการอบ (Time) มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน

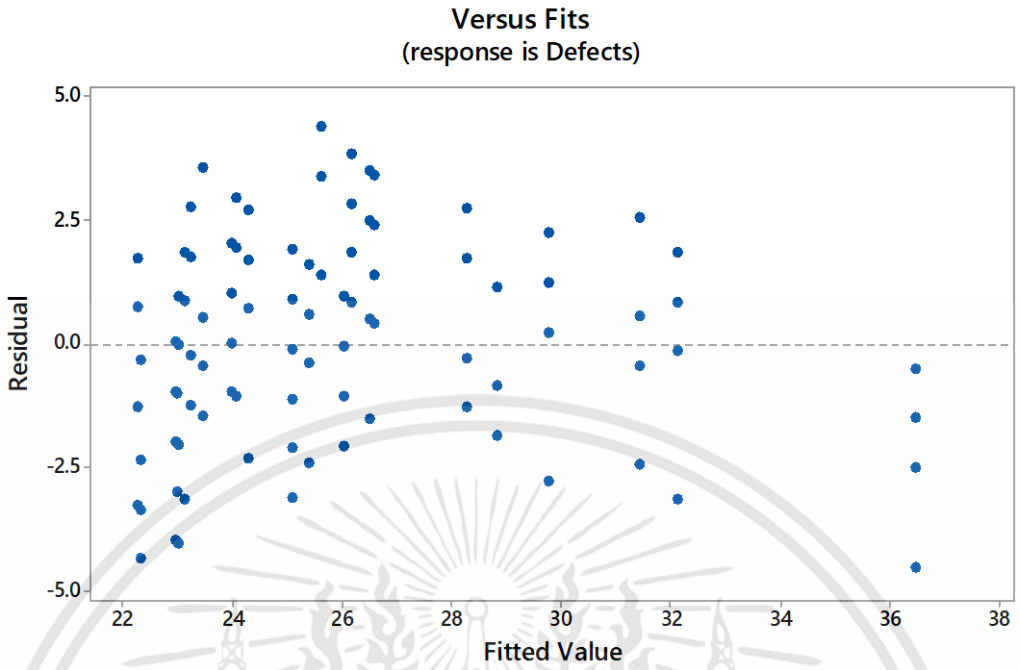
4.2.2 วิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลจากผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว

นำผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลผลการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปมาการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลจากค่าความผิดพลาด (Residual Plot) จำนวนถุงมือยางรั่ว แสดงดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.5

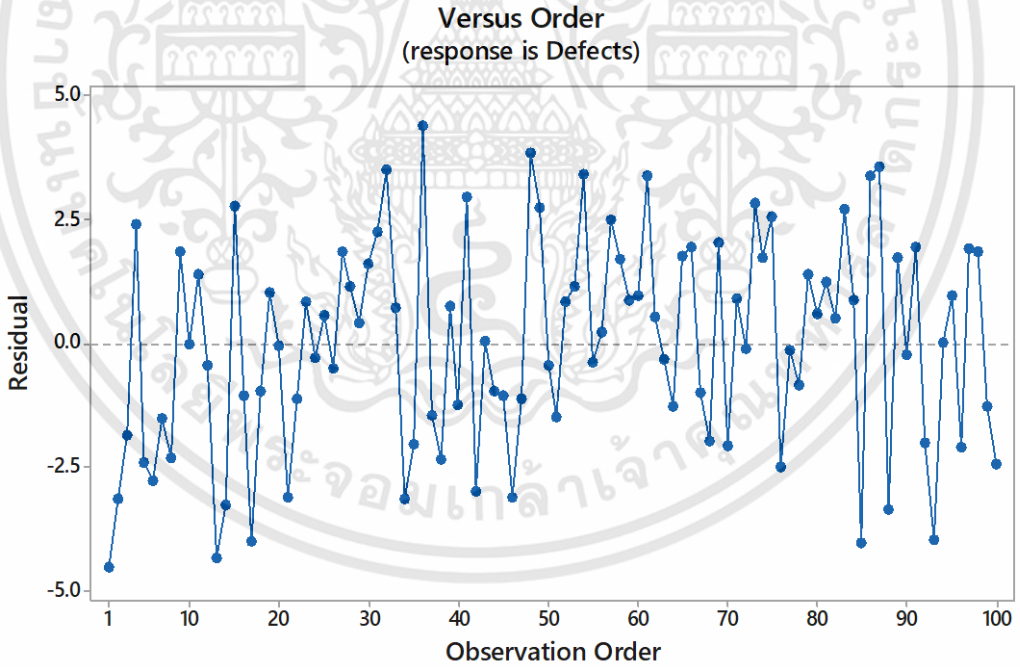


รูปที่ 4.3 Normal probability plot ของจำนวนถุงมือยางรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 Versus Fits ของจำนวนถุงมือยางรั่ว



รูปที่ 4.5 Versus order ของจำนวนถุงมือยางรั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลจากค่าความผิดพลาด (Residual Plot) จากรูปที่ 4.3 Normal probability plot เป็นการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล จะเห็นได้ว่าข้อมูลมีการเรียงตัวกันเป็นเส้นตรง ซึ่งไม่พบความผิดปกติของข้อมูล จากรูปที่ 4.4 Versus Fits คือการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน พบว่า ข้อมูลมีการประจายตัวสม่ำเสมอ ความผิดพลาดของข้อมูลคงที่ จากรูปที่ 4.5 Versus order คือการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของข้อมูล พบว่าข้อมูลนี้มีความอิสระต่อกัน ไม่พบค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ดังนั้นผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบแฟคทอรียลเต็มรูปสามารถนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อที่จะวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization)

นำผลข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป มาวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของผลคำตอบสนองของค่าจำนวนถุงมือยางรั่ว เนื่องจากปัจจัยที่นำมาใช้ในการทดลองมี 2 ปัจจัย และกำหนดระดับของปัจจัย 5 ระดับ จึงสามารถนำผลที่ได้มาวิเคราะหืหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยวิธีวิธีการพื้นผิวตอบสนองได้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จากวิธีการพื้นผิวตอบสนอง เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีผลต่อผลคำตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (α = 0.05) โดยมีการทดสอบสมมติฐานที่กำหนดไว้ดังนี้

สมมติฐานการวิจัยที่ใช้ทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อผลคำตอบของจำนวนถุงมือยางรั่ว

1. H_0 : ปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) ไม่มีผลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว
   H_1 : ปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) มีผลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว
2. H_0 : ปัจจัยเวลาในการอบ (Time) ไม่มีผลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว
   H_1 : ปัจจัยเวลาในการอบ (Time) มีผลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	1181.01	236.203	49.35	0.000
Linear	2	160.59	80.293	16.78	0.000
Temp	1	89.78	89.780	18.76	0.000
Time	1	70.81	70.805	14.79	0.000
Square	2	545.19	272.595	56.96	0.000
Temp*Temp	1	468.01	468.014	97.79	0.000
Time*Time	1	77.17	77.175	16.12	0.000
2-Way Interaction	1	475.24	475.240	99.30	0.000
Temp*Time	1	475.24	475.240	99.30	0.000
Error	94	449.90	4.786		
Total	99	1630.91			

รูปที่ 4.6 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนจากวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังรูป 4.6 พบว่า ปัจจัยอุณหภูมิในการอบ (Temp) และปัจจัยเวลาในการอบ (Time) และยังพบว่าปัจจัยอุณหภูมิในการอบและปัจจัยเวลาในการอบ (Temp*Time) มีปฏิกิริยาสัมพันธ์กัน มีผลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่วที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value น้อยกว่า 0.05) จึงสรุปได้ว่ามีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก อีกทั้งยังพบปัจจัยที่อยู่ในรูปสมการกำลังสอง

ตารางที่ 4.4 ผลทางสถิติของแบบจำลองสมการถดถอยกำลังสองของผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่ว

ผลทางสถิติของแบบจำลอง	
Standard Division	2.18
R-Squared	0.7241
Adjusted R-Squared	0.7095
Predicted R-Squared	0.6871

จากตารางที่ 4.4 ผลทางสถิติของสมการกำลังสอง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7241 และค่าแสัมประสิทธิ์การตัดสินใจทำนาย (Predicted R^2) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่มีการปรับแก้ (Adjusted R^2) มีค่าเท่ากับ 0.7095 ซึ่งมีค่าสูง ดังนั้นสมการนี้สามารถอธิบายความผันแปรของผลตอบสนองของจำนวนถุงมือยางรั่วได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 4.5 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว

Term	Coefficient estimate
Temp	-5.923
Time	-43.00
Temp * Temp	0.01239
Time * Time	0.525
Temp * Time	0.1090

จากตารางที่ 4.5 สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์ของเทอมปัจจัยต่างๆ นั้นมาเขียนเป็นสมการถดถอยของแต่ละปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว ได้ดังนี้

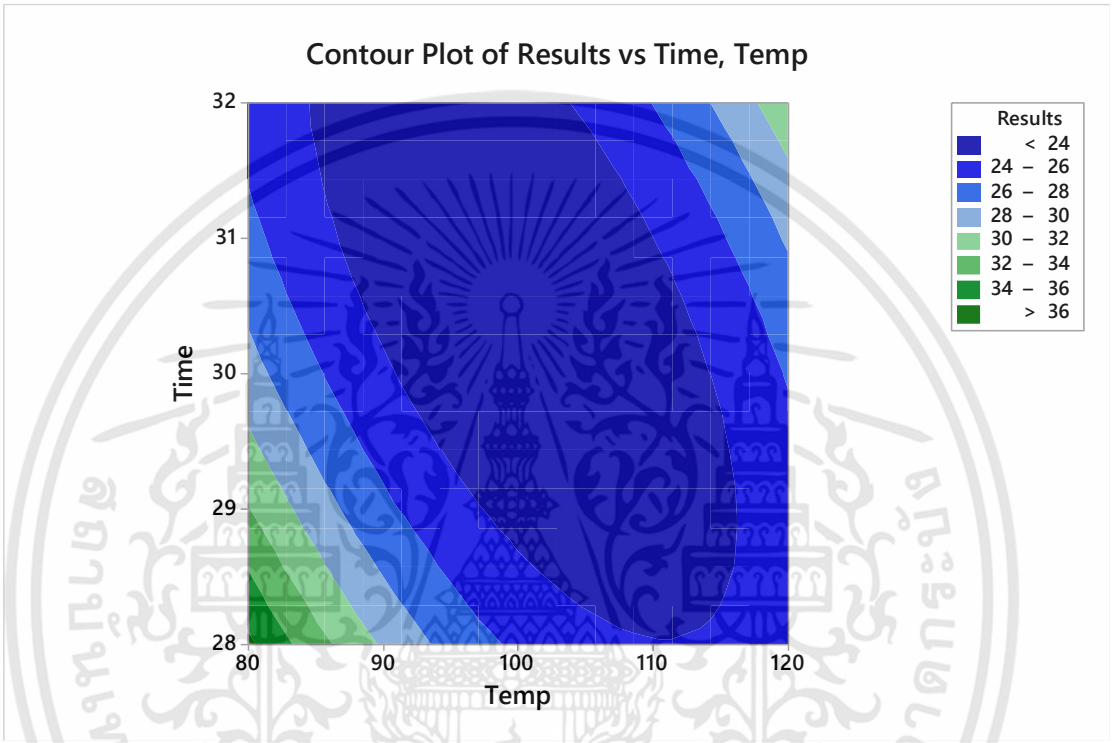
$$\hat{Y} = 976 - 5.923\ \text{Temp} - 43.00\ \text{Time} + 0.01293\ \text{Temp} * \text{Temp} + 0.525\ \text{Time} * \text{Time} + 0.1090\ \text{Temp} * \text{Time} \quad (4.1)$$

โดยที่ A : อุณหภูมิของเตาอบ
B : เวลาที่ใช้ในการอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวิเคราะห์วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

จากสมการที่ถดถอยของแบบจำลองกำลังสอง (สมการ 4.1) มาพล็อตเป็นกราฟแสดงพื้นผิวตอบสนอง (Response surface) ซึ่งจะพิจารณาจาก Contour Plot ของพื้นที่ผิวตอบสนองระหว่างปัจจัยอุณหภูมิของเตาอบและเวลาที่ใช้ในการอบที่เหมาะสมที่มีผลต่อผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่า ในพื้นที่ส่วนสีน้ำเงินเข้มจะบ่งบอกสภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว (Y) น้อยกว่า 24 ชิ้น



รูปที่ 4.7 Contour Plot ของผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่ว

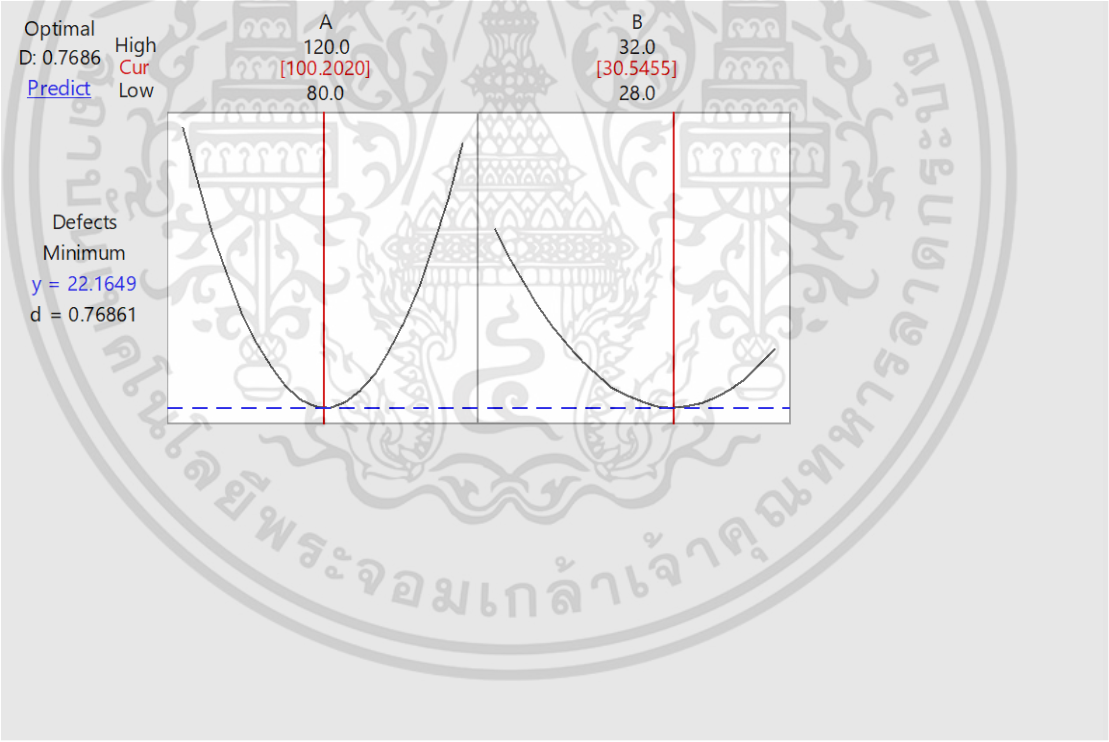
4.3.3 การการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม

ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิของเตาอบและเวลาที่ใช้ในการอบ โดยการวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer และวัดค่าความพึงพอใจโดยรวม (Desirability Function: D) ของผลคำตอบ งานวิจัยนี้พิจารณาจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงกำหนดเป้าหมายของผลคำตอบเป็นค่าน้อยที่สุด (Minimize) เนื่องจากต้องการค่าของจำนวนการเกิดของเสียมีค่าน้อยที่สุดซึ่งผลตอบสนองของจำนวนถุงมืองยางรั่วจะพิจารณาอยู่ในช่วง 18-36 ชิ้น เมื่อทำการวิเคราะห์จึงค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนถุงมือยางรั่ว แสดงดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 Response Optimization ของจำนวนถุงมือยางรั่ว

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Defects	Minimum		18	26	1	1
Solution						
Variable						
Temp	=	100.202				
Time	=	30.5455				
Predicted Responses						
Defects	=	22.1649,	desirability	=	0.7686	



รูปที่ 4.8 Optimization plot ของจำนวนถุงมือยางรั่ว

ผลการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์ Response Optimizer จากรูปที่ 4.8 แสดง Optimization plot ของจำนวนถุงมือยางรั่ว ด้วยโปรแกรม Minitab 17 พบว่า ค่าระดับปัจจัยของอุณหภูมิของเตาอบที่ 100.2020 องศาเซลเซียส และค่าระดับของเวลาที่ใช้ในการอบที่ 30.5455

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาที ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลคำตอบ D=0.76861 แสดงว่าผลคำตอบที่ได้นั้นอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้แต่ยังไม่สมบูรณ์

4.4 เปรียบเทียบผลดำเนินการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ Response Optimizer เมื่อนำมาใช้ในการทดลองจริงแล้วทางโรงงานไม่สามารถปรับค่าได้ตรงกับค่าที่วิเคราะห์มา ดังนั้นจึงมีการปรับค่าให้ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ อุณหภูมิของเตาอบที่ระดับปัจจัย 100 °C และเวลาในการอบที่ระดับปัจจัย 30 นาที โดยค่าของระดับปัจจัยก่อนและหลังปรับปรุง แสดงดังตารางที่ 4.7 จากนั้นผู้วิจัยได้นำค่าที่ได้ไปทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับปรุง โดยทำการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงมาตรวจสอบว่ามีจำนวนถุงมือยางรั่วกี่ชิ้น แสดงดังตารางที่ 4.8 จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 4.7 ค่าของปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
อุณหภูมิของเตาอบ	150-160 °C	100 °C
เวลาในการอบ	22-25 นาที	30 นาที

ตารางที่ 4.8 จำนวนของเสียที่เกิดก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยปัจจัยที่เหมาะสม

No.	จำนวนที่ผลิต/กล่อง (ชิ้น)	จำนวนของเสีย/กล่อง (ชิ้น)	ประเภทของของเสีย		
			รั่ว	สกปรก	อื่นๆ
1	1280	25	19	5	1
2	1280	35	22	12	1
3	1280	23	18	5	0
4	1280	32	20	11	1
5	1280	33	23	7	3
6	1280	28	21	6	1
7	1280	29	19	7	3
8	1280	30	20	8	2
9	1280	28	20	8	0
10	1280	30	25	5	0
11	1280	29	19	9	1
12	1280	27	17	9	1
13	1280	26	21	5	0

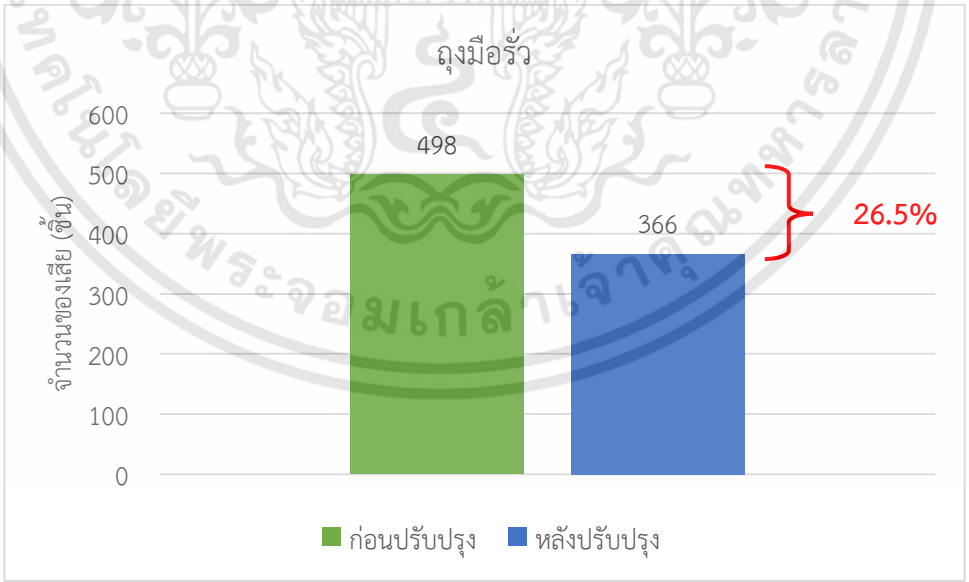
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 จำนวนของเสียที่เกิดก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

No.	จำนวนที่ผลิต/กล่อง (ชิ้น)	จำนวนของเสีย/กล่อง (ชิ้น)	ประเภทของของเสีย		
			รั่ว	สกปรก	อื่นๆ
14	1280	30	20	7	3
15	1280	27	22	5	0
16	1280	33	21	10	2
17	1280	29	19	7	3
18	1280	25	20	5	0
รวม	23040	519	366	131	22

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบจำนวนถุงมือรั่วก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ

จำนวนของเสียที่เกิดจากถุงมือรั่ว (ชิ้น)	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	การปรับปรุง	เปอร์เซ็นต์การปรับปรุง
	498	366	132	26.5%



รูปที่ 4.9 สัดส่วนของเสียจากปัญหาถุงมือรั่วก่อนและหลังปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลของตารางที่ 4.9 แสดงจำนวนถุงมือรั่วที่เกิดขึ้นก่อนและหลังปรับปรุง จากการตัวอย่างถุงมือยางจำนวน 23,040 ชิ้น มาตรวจสอบคุณภาพ โดยค่าของระดับปัจจัยอุณหภูมิของเตาอบ (Temp) เท่ากับ 100 °C ระดับปัจจัยเวลาในการอบ (Time) เท่ากับ 30 นาที พบว่า จำนวนถุงมือยางรั่วลดลงจาก 498 ชิ้น เหลือ 366 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง 26.5% และพบว่าของเสียของถุงมือยางที่เกิดจากสาเหตุอื่นลดลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยาง พบว่าปัญหาคุณภาพเป็นปัญหาหลักที่พบ โดยมีจำนวนของเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตออกมาจำนวนค่อนข้างสูง เพื่อลดจำนวนของเสียและปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการเริ่มต้นศึกษาจากการวัดสภาพของปัญหาในปัจจุบัน วิเคราะห์สาเหตุของเสีย และทำการแก้ไขปรับปรุง โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) วิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ซึ่งจะใช้โปรแกรม Minitab 17 ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา จำนวนของเสียที่พบสูงสุดคือถุงมือรั่ว ดังแสดงในแผนภูมิพาเรโต รูปที่ 1.1 ในบทที่ 2 จึงเลือกปัญหานี้มาทำการแก้ไขเป็นลำดับแรก ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดถุงมือรั่วคือ อุณหภูมิในเตาอบและเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือ จึงได้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป โดยกำหนดระดับปัจจัย 5 ระดับ จากการทดลองด้วยจำนวนชิ้นในการทดลองที่ 1,280 ชิ้นและการทำซ้ำจำนวน 4 ครั้ง จากนั้นนำผลการทดลองวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Response Optimization) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เกิดของเสียจากถุงมือรั่วน้อยที่สุด พบว่าระดับอุณหภูมิในเตาอบที่เหมาะสมคือ 100 ℃ และใช้เวลาในการอบถุงมือ 30 นาที พบจำนวนถุงมือยางรั่ว 23 ชิ้น/รอบการผลิต จากนั้นทำการเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยปัจจัยที่เหมาะสม โดยเก็บตัวอย่างถุงมือยางมาตรวจสอบคุรภาพ พบว่า จำนวนของเสียที่มีสาเหตุจากการเกิดรอยรั่วก่อนปรับปรุงมีจำนวน 498 ชิ้น และจำนวนของเสียที่มีสาเหตุจากการเกิดรอยรั่วหลังปรับปรุงมีจำนวน 366 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง 26.5% และยังทำให้จำนวนของเสียจากสาเหตุอื่นลดลงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยางกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการผลิตและเลือกแก้ปัญหาเฉลาะส่วนที่สารถแก้ได้ทันที เพื่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่ดีขึ้น ควรมีการพิจารณาปัจจัยอื่นเพิ่มขึ้นด้วย ได้แก่

1) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเสียของถุงมือเพิ่มเติมในส่วนของปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องกับการเกิดของเสีย

2) การติดตั้งชุดใบพัดกวนน้ำ เพื่อติดตั้งในถังของน้ำยางพาราและสารเคมีเพื่อช่วยให้เกิดการไหลเวียนและทำให้การผสมกันของน้ำยางและสารเคมีเข้ากันได้ดีขึ้นอีกด้วย

3) การปรับปรุงอุปกรณ์ในการชะล้างบนเบ้ามือเพื่อลดการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกที่ติดมากับเบ้ามือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] แนวโน้มธุรกิจ อุตสาหกรรม ปี 2559-2561. “**อุตสาหกรรมยาง.**” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.krungsri.com/bank/getmedia/4b7f69d2-dc4d-4565-af75-e85d57d48157/IO_Rubber_2016_TH.aspx.

[2] สถิติการค้าระหว่างประเทศไทย. “**ตลาดส่งออกของไทยรายสินค้า.**” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://tradereport.Moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomTopNRecode&Option=3&Lang=Th&ImExType=1.

[3] ทนงศักดิ์ วัฒนา และศุภชกรณ์ หลิมเฮงฮะ. 2554. “**เทคโนโลยีการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์.**” ว.Technology Production. 38: 67-72.

[4] Hand Gloves and Safety Products “**latex-household-gloves.**” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.kamleshenterprises.in/latex-household-gloves.html.

[5] วีรเทพ ไตรรงค์รัตน์, “การลดของเสียในกระบวนการพ่นสีเหล็กด้วยเทคนิคเอฟเอ็มอีเอ : กรณีศึกษา บริษัทโกลด์ เพรส อินดัสตรี จำกัด.” การค้นคว้าอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลราชมงคลธัญบุรี. 2557.

[6] Douglas C. Montgomery, **Introduction to Statistical Quality Control.** 6th Edition, USA, John Wiley & Sons Inc., 2009.

[7] Wilson, P.E., Dell, L. D., & Anderson, G. F., “Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management”, **Milwaukee: ASQC Quality Press**, pp.111-120, 1993.

[8] ยุทธ ไกยวรรณ์, **การวางแผนการทดลองสำหรับงานวิจัย.** กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2554

[9] อุดม ลพสุนทร, “การลดของเสียในกระบวนการประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผ่นพีซีบีโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.

[10] ปารเมศ ชุติมา, **การออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

[11] ปรัชญา พละพันธุ์, **คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ**. นนทบุรี: ไอดีซี. 2560.

[12] สิทธิชัย เจริญเศรษฐศิลป์, **การวางแผนการทดลอง.** ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2542.

[13] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง Design and Analysis of Experiments.** กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท้อป. 2559.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[14] นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์. **สถิติวิศวกรรม (Engineering Statistics).** ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2554.

[15] Esah Yip and Paul Cacioli, “The manufacture of gloves from natural rubber latex” **Journal of Allergy and Clinical Immunology,** Vol. 110, 2002. Pp S3-S14

[16] Glove Former “Surgical Hand Former.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จากhttp://www.hallmark porcelain.com/products02_surgical_hand_former.html.

[17] มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และพชร ษาครประเสริฐ, “การลดของเสียในโรงงานผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถแทรกเตอร์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง” **การประชุมวิชาการระดับชาติ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ 12 วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ**, 2559. หน้า 318-329.

[18] จิตรลดา เลิศกิตติกุล และนันทชัย กานตานันทะ. 2557. “การลดของเสียของบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง.” **KKU Res. J.,** 19(6) : 886-899.

[19] เอกอร ควชะกุล. “ภาวะที่เหมาะสมในการคลอริเนตถุงมือยาง.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542.

[20] เจษฎา ทิพย์มณเฑียร. “การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการบรรจุและปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ในการผลิตซอสผลไม้.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2546.

[21] ชุติมา ราชพิทักษ์. “การลดของเสียจากกระบวนการผลิตแบบแมชชินนิ่งโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2551.

[22] ทวี บุญกำเนิด. “การลดของเสียในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษาโรงงานผลิตถุงมือแพทย์.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2553.

[23] รดามณี อิทธิพรม, สมฤทัย ดัชนีย์ และชาญณรงค์ สายแก้ว. “การลดของเสียในการผลิตขวดพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมน้ำดื่ม.” **KKU Engineering Journal.,** 40(3) : 437-446.

[24] จตุรวิทย์ คงเขียว. 2557. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา : กระบวนการผลิต Surface Mount Technology.” สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2557.

[25] บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล. 2559. “การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทผลิตขนมขบเคี้ยว.” **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**., 9(2) : 30-43.

[26] Ansell. 2018. “**Ansell Surgical Glove Manufacturing**” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.youtube.com/watch?v=HtFCpOjc5zc&t=53s.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[27] วิทยา สุมะลิ, “การลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2559.

[28] ปรวีย์ ไพใหล, “ประสิทธิภาพการปิดกั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของยางพาราธรรมชาติ ผสมเขม่าดำ ผงดีบุก และทังสเตน : ผลของขนาดอนุภาคและปริมาณสารตัวเติม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.

[29] Tomer Arbeli, Yakir Liptz, Ravell Bengiat and Michal Levin-Elad. “Development of fingermarks on Latex gloves: The solution to a challenging surface.” Forensic Science International., vol.280, 2017. pp. 147-152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2562
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
7-8 กุมภาพันธ์ 2562 เชียงใหม่

การสืบค้นและวิเคราะห์การเกิดของเสียเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต

Investigation and Analysis of Defects to improve Manufacturing Efficiency

ณัฐนรี ระวังวงศ์[1]*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
E-mail: [1] natnaree.kmitl@gmail.com
และ เชาวลิต หามนตรี[2]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
E-mail: [2] Chaowalit.ha@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการควบคุมคุณภาพและการออกแบบการทดลองเพื่อค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตถุงมือยางโรงงานกรณีศึกษา จากการศึกษาพบว่ามีจำนวนของเสียที่ผ่านกระบวนการผลิต โดยสามารถแบ่งลักษณะของเสียหลักออกได้เป็น 3 ลักษณะ ประกอบด้วยถุงมือยางมีรูรั่ว ถุงมือมีรอยสกปรก และถุงมือมีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจากสาเหตุอื่นๆ จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางด้านคุณภาพและและการออกแบบการทดลองพบว่าอุณหภูมิของเตาอบและเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาถุงมือรั่ว จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Design) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 80-120 °C และเวลาที่ใช้ในเตาอบที่ 28-32 นาที ผลจากการทดลองพบว่าจำนวนของเสียเฉลี่ยของถุงมือที่มีรูรั่วหรือขาดลดลง 2.16% เหลือเพียง 1.59% และจำนวนของเสียจากสาเหตุอื่นลดลงด้วยเมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธีการอื่นร่วมด้วย

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, เทคนิคทางด้านคุณภาพ, การลดของเสียจากการผลิต

Abstract

This research aims to apply the Quality Techniques and Design of Experiment to investigate and analyze the critical defective of a glove's production in the case study. The study found that the number of defects can be divided into three main types, including of leak, dirt, and miscellaneous. The analysis from employing Statistical Tools and Quality Techniques indicated that the oven's temperature and conveyor speed influenced the amount of defective gloves produced. In particular, the design of experiments (DOE) and quality techniques were combined to statistically determine the correlation of the oven's temperature and baking time with defects as well as to define their optimum values needed to reduce/eliminate the defects. As the experiment, a gloves defect from leak problem is reduced from 2.16% to 1.59%. In addition, the numbers of other defects are decreased as well when the process is improved with other methods.

Keywords: Design of Experiment, Quality Techniques, Reducing Production Defects

* Corresponding author: E-mail: natnaree.kmitl@gmail.com
[1] นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. คำนำ

อุตสาหกรรมยางและผลิตภัณฑ์ยางเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ในปี 2558 โดยประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตยางพาราอันดับ 1 ของโลก มีผลผลิต 4.5 ล้านตัน คิดเป็นสัดส่วน 35.7% ของผลผลิตโลก ผลิตภัณฑ์ที่มียางเป็นส่วนประกอบหลัก เป็นอุตสาหกรรมที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยจากการส่งออกและมีแนวโน้มของมูลค่าของการส่งออกเพิ่มขึ้นในทุกๆปี ผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมยางสามารถจำแนกออกเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ คือ ยางแปรรูปขั้นต้น ยางยานพาหนะ ถุงมือยาง ยางรัดของ หลอดและท่อ และอื่นๆ โดยมีผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์และถุงมือยางที่มีมูลค่าจากการส่งออกให้กับประเทศ จากข้อมูลปี 2560 มีมูลค่าการส่งออก 4,584.85 และ 1,055.87 ล้านเหรียญ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับปีก่อนมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น 22.25% และ 10.62% ตามลำดับ [1] ในการผลิตถุงมือยางของไทยส่วนใหญ่จะเป็นการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศและจำหน่ายภายในประเทศเพียงเล็กน้อย ปัจจุบันอุตสากรรมการผลิตถุงมือยางของไทยมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น สำหรับโรงงานผลิตถุงมือยางกรณีศึกษา เป็นโรงงานที่ผลิตถุงมือยางสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม โดยผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจะมีการจัดจำหน่ายภายในประเทศไทยเท่านั้น

จากการศึกษาในกระบวนการผลิตพบว่า มีถุงมือยางที่มีคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น ถุงมือฉีกขาด มีรูรั่ว และมีสิ่งสกปรกเจือปน จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนของเสีย โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติและเทคนิคทางด้านคุณภาพเพื่อค้นหาสาเหตุและลดจำนวนการเกิดของเสียของกระบวนการผลิตถุงมือยางโรงงานกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงได้นำแนวคิดเรื่องเทคนิคการควบคุมคุณภาพ (Quality Techniques) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เข้ามาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย โดยมีรายละเอียดของทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

2.1 การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ

การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ (Statistical Process Control: SPC) [2] เป็นเครื่องมือสำคัญในการรักษาระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการในกระบวนการผลิตให้ตรงตามมาตรฐานของผู้ผลิตและลูกค้าต้องการ โดยใช้วิธีการทางสถิติมาใช้ในการกำหนดแหล่งของความผันแปร เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการอย่างเป็นระบบ จึงนำไปสู่การป้องกันการเกิดของเสีย ลดความผันแปรที่เกิดระหว่างกระบวนการผลิต ซึ่งความผันแปรในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความผันแปรเชิงสุ่ม (Random Variation) เป็นความผันแปรที่เกิดขึ้นเอง ไม่สามารถควบคุมและกำจัดให้หมดได้ เช่นความชื้น ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศ และความผันแปรที่ไม่เป็นเชิงสุ่ม (Assignable Variation) เป็นความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด การชำรุดของปัจจัยในการผลิตต่างๆ จึงทำให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสินค้า โดยการวัดคุณภาพผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งตามลักษณะออกเป็น 2 ประเภท คือ การวัดแบบตัวแปรค่า (Variable) เป็นการวัดผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณ เช่น ความยาว น้ำหนัก ที่สามารถวัดได้ และการวัดแบบคุณคุณสมบัติ (Attribute) เป็นการวัดในเชิงคุณภาพ เช่น ดี-เสีย ถูก-ผิด

2.2 เทคนิคของเครื่องมือคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพจำเป็นต้องอาศัยวิธีการทางสถิติมาเป็นเครื่องมือ เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล การจัดระเบียบข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล รวมไปถึงการสนุบสนุนการตัดสินใจ โดยเครื่องมือการควบคุมคุณภาพมีที่สำคัญมีดังนี้ [3], [4]

1. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผลที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ชี้ให้เห็นถึงสาเหตุหลักและสาเหตุรองที่ทำให้เกิดปัญหา โดยการระดมสมอง (Brainstorming) หรือการระดมความคิดเห็นจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ทราบถึงปัญหาที่แท้จริง และสามารถแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง

2. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เป็นแผนภูมิที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของปัญหาหรือข้อบกพร่อง กับปริมาณของความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยเรียงลำดับปัญหาที่มีความถี่มากไปหาน้อย โดยจะเลือกพิจารณาปัญหาที่มีความถี่มากเป็นอันดับแรก

2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการเพื่อให้เป็นไปตามที่เราต้องการ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้สูง [5] เป็นการทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรนำเข้า (Input Variable) หรือปัจจัย (Factor) ในกระบวนการที่สนใจ เพื่อพิจารณาสาเหตุที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์นั้น (Output) โดยตัวแปรนำเข้านั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variables) และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Variables) [6]

2.3.1 การเลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัย

การเลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่จะนำมาทำการทดลอง คือการเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง การกำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงและกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร การทดลองคือการกรองปัจจัย (Factor Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองให้มีจำนวนน้อยที่สุด

2.3.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย เป็นการศึกษาถึงผลร่วมที่มีต่อผลตอบ (Response) ซึ่งเกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น การออกแบบเชิง

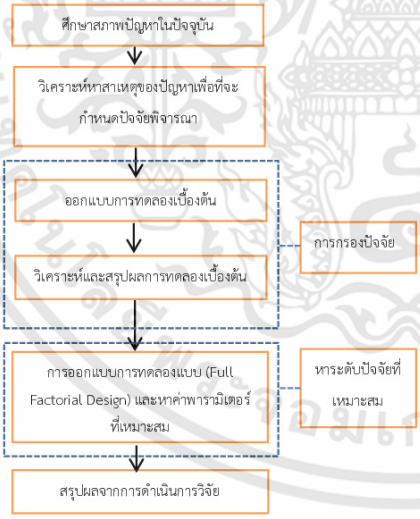
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟคทอเรียล หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้นตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป เรียกว่า ทรีทเมนต์คอมบิเนชัน (Treatment Combination) ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากมีปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้วยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย และยังเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมเกิดขึ้น โดย มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ [7] ได้ศึกษาเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ เพื่อลดของเสียภายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงแทร็กเตอร์ หลังจากการปรับปรุงพบว่า ของเสียลดลง 5.08% คิดเป็นมูลค่า 771,750 บาท/ปี จิตรลดา เลิศกิตติกุล [8] ได้ศึกษาเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบเต็มรูปแบบ เพื่อลดของเสียของการบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง พบว่า สามารถลดปริมาณของเสียเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ลงจากเดิม 8.43% เหลือ 1.80% คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงประมาณ 9 ล้านบาท/ปี เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดของเสียของ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์จึงทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ในการกำหนดค่าอุณหภูมิในเตาอบและเวลาที่ใช้ในเตาอบ เพื่อมุ่งเน้นในการลดของเสีย โดยทำการเก็บข้อมูลของเสียจากจำนวน 18 กลุ่มตัวอย่าง

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

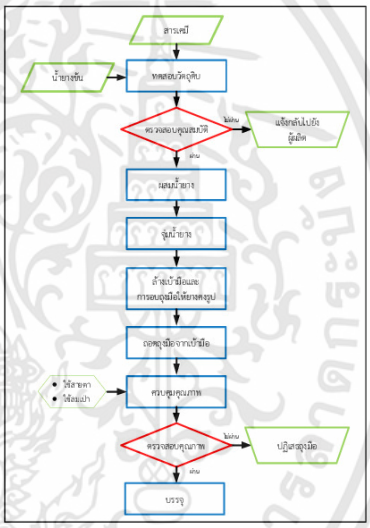
ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ ศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อที่จะกำหนดปัจจัยในการพิจารณา การออกแบบเบื้องต้นเพื่อกรองปัจจัยที่สำคัญ และออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป เพื่อนำไปสู่การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

โรงงานผลิตถุงมือยางกรณีศึกษา เป็นโรงงานที่ผลิตถุงมือยางสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งมีอยู่ 3 ขนาด คือ S, M และ L โดยผลิตภัณฑ์ทั้งหมดมีการจัดจำหน่ายภายในประเทศ กระบวนการผลิตประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ การทดสอบวัตถุดิบ (Raw Material Testing) เป็นการทดสอบคุณภาพของวัตถุดิบ โดยได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด การผสมน้ำยาง (Compounding) เป็นการผสมน้ำยางและสารเคมีที่เป็นไปตามข้อกำหนดของโรงงานกรณีศึกษา การจุ่มน้ำยาง (Dipping) เป็นการเคลือบน้ำยางบนเบ้ามือ ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตถุงมือยาง การล้างเบ้ามือและการอบถุงมือให้ยางคงรูป (Leaching and Vulcanizing) เป็นการล้างสารเคมีที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื้อยาง และลดปริมาณโปรตีนในถุงมือ ซึ่งจะทำหลังจากการอบขึ้นรูปถุงมือแล้ว การถอดถุงมือจากเบ้ามือ (Stripping) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในสายการผลิตถุงมือยาง ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้พนักงานในการถอดถุงมือ กระบวนการควบคุมคุณภาพ (Quality Control) เป็นการใช้สายตา โดยใช้ลมเป่าให้ถุงมือโป่ง และตรวจสอบว่า มีรอยรั่วหรือรอยฉีกขาดเกิดขึ้นหรือไม่ จากนั้นจะทำการบรรจุ (Packing) ถุงมือลงกล่อง เพื่อรอจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป กระบวนการผลิตถุงมือยางแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการผลิตถุงมือยาง

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

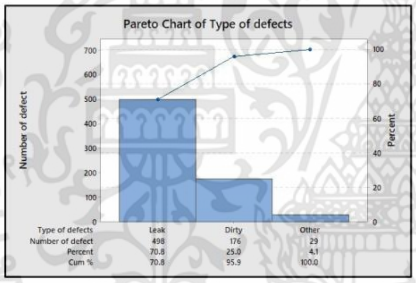
จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ ถุงมือมีรูรั่วหรือรอยฉีกขาด ถุงมือมีรอยเปื้อน และการเสียของถุงมือจากสาเหตุอื่นๆ เช่น ถุงมือมีรอยหยดทีบริเวณปลายนิ้ว จากการเก็บข้อมูลจำนวน 18 กลุ่มตัวอย่าง พบว่าจำนวนของเสียและลักษณะของของเสียที่เกิดขึ้นดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 จำนวนของเสียของถุงมือยาง (หน่วย/กล่อง)

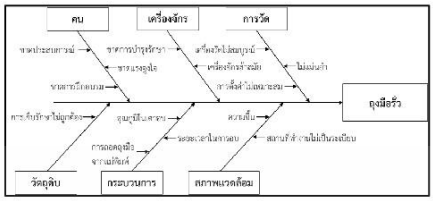
No.	จำนวนที่ผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสีย/ กล่อง (หน่วย)	ประเภทของของเสีย		
			รั่ว	สกปรก	อื่นๆ
1	1280	31	25	5	1
2	1280	41	28	11	2
3	1280	32	29	3	0
4	1280	39	24	12	3
5	1280	35	29	5	1
6	1280	48	35	12	1
7	1280	50	37	10	3
8	1280	44	28	14	2
9	1280	38	26	10	2
10	1280	35	28	7	0
11	1280	28	19	8	1
12	1280	43	29	12	2
13	1280	32	26	5	1
14	1280	45	27	14	4
15	1280	38	22	14	2
16	1280	47	32	13	2
17	1280	46	30	15	1
18	1280	31	24	6	1
รวม	23040	703	498	176	29

หลังจากทราบปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อต้องการทราบถึงปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยใช้แผนภูมิพาเรโตในการวิเคราะห์



รูปที่ 3 แผนภูมิพาเรโตแสดงสาเหตุและจำนวนของเสีย

จากแผนภูมิพาเรโต (รูปที่ 3) แสดงให้เห็นว่าถุงมือรั่วเป็นสาเหตุหลักของการเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยมีจำนวนร้อยละของเสียสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกปัญหานี้มาทำการแก้ไขเป็นลำดับแรก โดยผลจากการวิเคราะห์โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and effect Diagram) พบว่ามีหลายปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียที่มีผลมาจากถุงมือรั่ว เช่น มีสาเหตุมาจากพนักงาน เครื่องจักร การวัด วัตถุดิบ กระบวนการ และสภาพแวดล้อม ดังแสดงในรูปที่ 4 แต่เนื่องจากสาเหตุที่ทำให้เกิดถุงมือรั่ว มีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สาเหตุบางอย่างไม่สามารถแก้ไขได้ทันที เช่น เครื่องจักรที่มีสภาพเก่า จำเป็นต้องมีการลงทุนเพื่อเปลี่ยนอุปกรณ์หรือซื้อเครื่องจักรใหม่ หรือพนักงานจำเป็นต้องใช้เวลาในการฝึกอบรมหรือปรับเปลี่ยนวิธีการทำงาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดถุงมือรั่วที่สามารถดำเนินการได้ทันที โดยผ่านการระดมสมองจากผู้เกี่ยวข้อง พบว่าอุณหภูมิในเตาอบ และระยะเวลาที่ใช้ในการอบที่เหมาะสม คือปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการรั่วของถุงมือ



รูปที่ 4 แผนผังแสดงเหตุและผลแสดงสาเหตุของถุงมือมีรอยรั่ว

3.2 ออกแบบการทดลอง

เมื่อทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการทำให้เกิดถุงมือรั่วหรือขาด จึงได้ทำการออกแบบการทดลอง โดยการทดลองที่ใช้เป็นการทดลองแบบ Full Factorial Design ซึ่งกำหนดระดับของปัจจัยหลักในการทดลอง 2 ปัจจัย คือ ค่าอุณหภูมิในเตาอบ มีค่าอยู่ระหว่าง 80-120 °C และเวลาที่ใช้ในการอบ มีค่าอยู่ระหว่าง 28-32 นาที [9] โดยแต่ละปัจจัยมีจำนวน 5 ระดับ จากการทดลองเบื้องต้นเพื่อกรองระดับปัจจัย และมีการทดลองซ้ำภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน (Replication) จำนวน 4 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 5*5*4 = 100 การทดลอง โดยมีกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ข้อมูลรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย					หน่วย
อุณหภูมิในการอบ	80	90	100	110	120	°C
เวลาในการอบ	28	29	30	31	32	นาที

4. ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 3 แสดงถึงจำนวนของเสีย ที่ใช้ในการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟคทอเรียลเต็มรูป โดยจะนำปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรที่ตอบสนอง มาทำการวิเคราะห์เพื่อทดลองหาค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสม ในกรณีนี้เราทำการศึกษาผลกระทบจาก 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในเตาอบ จากนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และการวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ซึ่งเป็นการทดสอบการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัยในแต่ละทรีทเมนต์กับทรีทเมนต์อื่นทั้งหมดที่เหลือ ดังแสดงในตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 3 การการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

เวลาในการอบ (นาที)	อุณหภูมิในเตาอบ °C									
	80		90		100		110		120	
28	32	35	27	30	27	26	23	26	22	26
	36	34	32	31	30	29	27	26	22	23
29	29	33	25	29	23	21	19	22	24	25
	34	32	30	27	22	27	20	21	24	27
30	27	30	22	26	18	22	22	21	27	29
	30	28	25	22	20	19	21	19	30	38
31	29	30	25	24	19	21	25	26	28	30
	27	28	20	24	23	24	23	24	31	27
32	23	25	18	17	20	25	26	24	32	34
	27	26	21	19	22	23	25	27	31	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อจำนวนของเสียที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยจะใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

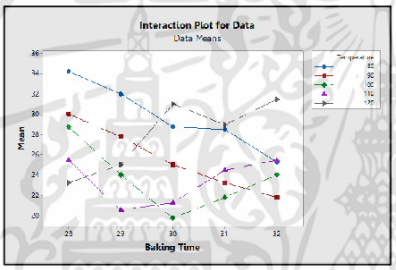
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	24	1460.3	60.844	14.71	0.000
Linear	8	736.6	92.077	22.26	0.000
Baking Time	4	135.3	33.815	8.17	0.000
Temperature	4	601.4	150.340	36.34	0.000
2-Way Interactions	16	723.6	45.228	10.93	0.000
Baking Time*Temperature	16	723.6	45.228	10.93	0.000
Error	75	310.3	4.137		
Total	99	1770.5			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.03388	82.48%	76.87%	68.85%

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) มีผลต่อจำนวนการเกิดของเสียของถุงมือคือ อุณหภูมิในเตาอบ และเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือ เนื่องจากค่า p-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อจำนวนการเสียของถุงมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

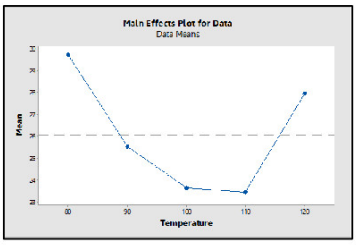


รูปที่ 4 แสดงจำนวนของเสียเฉลี่ยของอิทธิพลร่วม (Interaction)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของเสียของอุณหภูมิด้วย Duncan's Multiple Range Test

อุณหภูมิ	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	Homogeneous Groups			
110 °C	20	23.45	X			
100 °C	20	23.65	X			
90 °C	20	25.55		X		
120 °C	20	27.95			X	
80 °C	20	29.75				X

จากตารางที่ 5 การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างจำนวนของเสียเฉลี่ย พบว่าที่อุณหภูมิ 100°C และ 110°C ค่าเฉลี่ยจำนวนของเสียระหว่างกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่อุณหภูมิ 80 °C, 90°C, และ 120 °C มีค่าเฉลี่ยจำนวนของเสียระหว่างกลุ่มแตกต่างกัน และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอุณหภูมิ 100°C และ 110°C

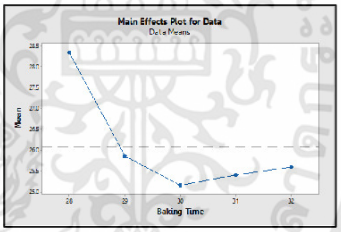


รูปที่ 5 แสดงจำนวนของเสียเฉลี่ยจากอุณหภูมิ (Temperature)

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของเสียของเวลาในการอบ ด้วย Duncan's Multiple Range Test

เวลาในการอบ	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	Homogeneous Groups	
30	20	25.15	X	
31	20	25.40	X	
32	20	25.60	X	
29	20	25.85	X	
28	20	28.35		X

จากตารางที่ 6 การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างจำนวนของเสียเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือ พบว่าที่เวลา 29-32 นาที ค่าเฉลี่ยของจำนวนของเสียระหว่างกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ในขณะที่เวลาที่ 28 นาที มีค่าเฉลี่ยจำนวนของเสียระหว่างกลุ่มแตกต่างจากเวลาอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



รูปที่ 6 แสดงจำนวนของเสียเฉลี่ยจากเวลาในการอบ (Baking Time)

4.2 การปรับปรุงกระบวนการ (Improvement phase)

จากการวิเคราะห์ปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือต่อจำนวนการเกิดของเสีย ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง พบว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยมีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้วิจัยจึงได้นำผลการวิเคราะห์ทางสถิติที่ได้มาระดมความคิดร่วมกับทีมงานเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตสำหรับใช้เป็นแนวทางและมาตรฐานที่เหมาะสมในการทำงานต่อไป นอกจากนี้ยังต้องทำการปรับปรุงกระบวนการอื่นๆด้วย เพื่อช่วยทำให้จำนวนของเสียลดลงมากกว่านี้ โดยผู้วิจัยได้ทำการเสนอแนะกระบวนการที่ต้องปรับปรุงดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การติดตั้งชุดใบพัดกวนน้ำ เพื่อติดตั้งในถังของน้ำยางพาราและสารเคมีเพื่อช่วยให้เกิดการไหลเวียนและทำให้การผสมกันของน้ำยางและสารเคมีเข้ากันได้ดีขึ้นอีกด้วย

2. การปรับปรุงอุปกรณ์ในการชะล้างบนเบ้ามือเพื่อลดการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรกที่ติดมากับเบ้ามือ

3. การปรับปรุงกระบวนการควบคุมความร้อนในเตาอบ (Heat Control) เนื่องจากเตาอบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นระบบเก่าทำให้อุณหภูมิที่กระจายตัวอยู่ในแต่ละจุดมีค่าแตกต่างกัน อีกทั้งยังขาดอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ เทอร์โมคับเปิ้ล (Thermocouple) ที่เพียงพอกับขนาดของเตาอบ รวมทั้งขาดอุปกรณ์เฝ้าติดตาม (Temperature Monitoring System) ที่เพียงพออีกด้วย ทำให้ส่งผลโดยตรงต่อการเกิดของเสียจากถุงมือรั่ว และถุงมือไม่ได้ขนาด

4. ปรับปรุงแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เนื่องจากขาดการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม พบว่าสาเหตุของเสียจากการเปื้อนคราบสกปรกที่ถุงมือเกิดจากน้ำมันหรือจารบีที่หมดสภาพ อันเนื่องมาจากสารหล่อลื่นถูกใช้มานาน และเมื่อถูกความร้อนเป็นเวลานานจึงเกิดการไหลมาเปื้อนถุงมือในระหว่างทำการผลิต

5. ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเสียของถุงมือเพิ่มเติม เช่น อุณหภูมิของสารช่วยจับตัว และอายุการใช้งานของเบ้ามือ หรือปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

5. สรุปผลการดำเนินการ

จากปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าปัญหาคุณภาพเป็นปัญหาหลักที่พบ โดยมีจำนวนของเสียที่ผ่านกระบวนการผลิตออกมาจำนวนค่อนข้างสูง เพื่อลดจำนวนของเสียและปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการเริ่มต้นศึกษาจากการวัดสภาพของปัญหาในปัจจุบัน วิเคราะห์สาเหตุของเสีย และทำการแก้ไขปรับปรุง

จำนวนของเสียที่พบสูงสุดคือถุงมือรั่ว ดังแสดงในแผนภูมิพาเรโต รูปที่ 2 จึงเลือกปัญหานี้มาทำการแก้ไขเป็นลำดับแรก ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดถุงมือรั่วหรือขาดคือ อุณหภูมิในเตาอบและเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือ ผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design พบว่าอุณหภูมิในเตาอบ และเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเกิดของเสีย โดยระดับอุณหภูมิในเตาอบที่เหมาะสมคือ 100 °C และใช้เวลาในการอบถุงมือ 30 นาที จะทำให้เกิดจำนวนของเสียเฉลี่ยต่ำสุด นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณา โดยดูได้จากกราฟที่แสดงถึงอิทธิพลร่วม ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ความแตกต่างค่าเฉลี่ยของเสียของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบถุงมือ ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test หลังจากทำการทดลองปรับปรุงกระบวนการ โดยการทดลองปรับเปลี่ยนกระบวนการตามค่าพารามิเตอร์ใหม่ จากการทดลองด้วยจำนวนชิ้นในการทดลองที่ 1,280 ชิ้นและทดลองซ้ำเป็นจำนวน 4 ครั้ง พบว่าจำนวนร้อยละของเสียเฉลี่ยที่มีสาเหตุจากถุงมือมีรูรั่วลดลงจากเดิม 2.16% เหลือเพียง 1.59% และยังทำให้จำนวนของเสียจากสาเหตุอื่นลดลงตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] สถิติการค้าระหว่างประเทศไทย. "ตลาดส่งออกของไทยรายสินค้า" [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://tradereport.Moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=MenucomTopNRecode&Option=3&Lang=Th&ImExType=1.

[2] Ignatio Madanhire, Charles Mbohwa (2016), "Application of statistical process control (SPC) IN Manufacturing Industry in a Developing Country", 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing, vol. 40, pp.580-583, 2016.

[3] Mohiuddin Ahmed & Nafis Ahmad, "An Application of Pareto Analysis and Cause and Effect Diagram for Minimization of Raw Material in Lamp Production Process", Management Science and Engineering, vol. 5 no.3, pp. 87-95, 2011.

[4] Wilson, P.E., Dell, L. D., & Anderson, G. F., "Root Cause Analysis: A Tool for Total Quality Management", Milwaukee: ASQC Quality Press, pp.111-120, 1993.

[5] Uday a. Dabade & rahul c. Bhedasgaonkar, "Casting Defect Analysis Using Design of Experiments and Computer Aided Casting Simulation Technique", Forty sixth CIRP Conference on Manufacturing System, vol. 7, pp. 616-621, 2013.

[6] วิทยา สุมะลี, "การลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอโทรศัพท์มือถือ โดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง". วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2559.

[7] มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์ และพชร ชาครประเสริฐ, "การลดของเสียในโรงงานผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถแทรกเตอร์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง" การประชุมวิชาการระดับชาติ "นเรศวรวิจัย" ครั้งที่ 12 วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ, 2559. หน้า 318-329.

[8] จิตรลดา เลิศกิตติกุล, และนันทชัย กานตานันทะ, "การลดของเสียของบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง" วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2554. หน้า 886-899.

[9] ทนงศักดิ์ วัฒนา และศุภกรณ์ หลิมเฮงฮะ, "เทคโนโลยีการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์", Techonology Production, ฉบับที่ 38, หน้า 67-72, มิถุนายน-กรกฎาคม, 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

จำนวนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 จำนวนของเสียและประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ลำดับ	จำนวนที่ผลิต	จำนวนของเสีย	ประเภทของเสีย		
			รั่ว	สกปรก	อื่นๆ
1	1280	31	25	5	1
2	1280	41	28	11	2
3	1280	32	29	3	0
4	1280	39	24	12	3
5	1280	35	29	5	1
6	1280	48	35	12	1
7	1280	50	37	10	3
8	1280	44	28	14	2
9	1280	38	26	10	2
10	1280	35	28	7	0
11	1280	28	19	8	1
12	1280	43	29	12	2
13	1280	32	26	5	1
14	1280	45	27	14	4
15	1280	38	22	14	2
16	1280	47	32	13	2
17	1280	46	30	15	1
18	1280	31	24	6	1
รวม	23040	703	498	176	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 จำนวนของเสียและประเภทของของเสียที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

ลำดับ	จำนวนที่ผลิต	จำนวนของเสีย	ประเภทของของเสีย		
			รั่ว	สกปรก	อื่นๆ
1	1280	25	19	5	1
2	1280	35	22	12	1
3	1280	23	18	5	0
4	1280	32	20	11	1
5	1280	33	23	7	3
6	1280	28	21	6	1
7	1280	29	19	7	3
8	1280	30	20	8	2
9	1280	28	20	8	0
10	1280	30	25	5	0
11	1280	29	19	9	1
12	1280	27	17	9	1
13	1280	26	21	5	0
14	1280	30	20	7	3
15	1280	27	22	5	0
16	1280	33	21	10	2
17	1280	29	19	7	3
18	1280	25	20	5	0
รวม	23404	519	366	131	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	Defects
1	50	1	1	80	28	32
2	64	1	1	80	29	29
3	53	1	1	80	30	27
4	42	1	1	80	31	29
5	92	1	1	80	32	23
6	7	1	1	90	28	27
7	87	1	1	90	29	25
8	80	1	1	90	30	22
9	91	1	1	90	31	25
10	48	1	1	90	32	23
11	88	1	1	100	28	27
12	34	1	1	100	29	23
13	63	1	1	100	30	18
14	69	1	1	100	31	19
15	85	1	1	100	32	26
16	83	1	1	110	28	23
17	16	1	1	110	29	19
18	33	1	1	110	30	22
19	41	1	1	110	31	25
20	31	1	1	110	32	26
21	60	1	1	120	28	22
22	28	1	1	120	29	24
23	35	1	1	120	30	27
24	14	1	1	120	31	28
25	67	1	1	120	32	32
26	4	1	1	80	28	36
27	66	1	1	80	29	34
28	6	1	1	80	30	30
29	72	1	1	80	31	27
30	84	1	1	80	32	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	Defects
31	71	1	1	90	28	32
32	94	1	1	90	29	30
33	49	1	1	90	30	25
34	44	1	1	90	31	20
35	78	1	1	90	32	21
36	36	1	1	100	28	30
37	97	1	1	100	29	22
38	2	1	1	100	30	20
39	89	1	1	100	31	23
40	95	1	1	100	32	22
41	1	1	1	110	28	27
42	11	1	1	110	29	20
43	24	1	1	110	30	23
44	45	1	1	110	31	23
45	46	1	1	110	32	25
46	17	1	1	120	28	22
47	32	1	1	120	29	24
48	54	1	1	120	30	30
49	61	1	1	120	31	31
50	38	1	1	120	32	31
51	59	1	1	80	28	35
52	8	1	1	80	29	33
53	93	1	1	80	30	30
54	55	1	1	80	31	30
55	65	1	1	80	32	25
56	47	1	1	90	28	30
57	96	1	1	90	29	29
58	21	1	1	90	30	26
59	52	1	1	90	31	24
60	3	1	1	90	32	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	Defects
61	70	1	1	100	28	29
62	56	1	1	100	29	24
63	51	1	1	100	30	22
64	74	1	1	100	31	21
65	57	1	1	100	32	25
66	58	1	1	110	28	26
67	27	1	1	110	29	22
68	20	1	1	110	30	21
69	37	1	1	110	31	26
70	15	1	1	110	32	24
71	9	1	1	120	28	26
72	10	1	1	120	29	25
73	23	1	1	120	30	29
74	26	1	1	120	31	30
75	81	1	1	120	32	34
76	68	1	1	80	28	34
77	25	1	1	80	29	32
78	13	1	1	80	30	28
79	12	1	1	80	31	28
80	82	1	1	80	32	26
81	79	1	1	90	28	31
82	99	1	1	90	29	27
83	29	1	1	90	30	27
84	22	1	1	90	31	24
85	98	1	1	90	32	19
86	40	1	1	100	28	29
87	77	1	1	100	29	27
88	90	1	1	100	30	19
89	39	1	1	100	31	24
90	62	1	1	100	32	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ผลของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	Defects
91	43	1	1	110	28	26
92	30	1	1	110	29	21
93	18	1	1	110	30	19
94	76	1	1	110	31	24
95	86	1	1	110	32	27
96	5	1	1	120	28	23
97	19	1	1	120	29	27
98	73	1	1	120	30	28
99	75	1	1	120	31	27
100	100	1	1	120	32	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ผลตอบสนอง (Y) ด้วยโปรแกรม Minitab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ผลตอบสนอง (Y) ด้วยโปรแกรม Minitab จำนวนของเสียที่เกิดจากถุงมือยางรั่ว

Response Surface Regression: Defects versus A, B

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	1181.01	236.203	49.35	0.000
Linear	2	160.59	80.293	16.78	0.000
A	1	89.78	89.780	18.76	0.000
B	1	70.81	70.805	14.79	0.000
Square	2	545.19	272.595	56.96	0.000
A*A	1	468.01	468.014	97.79	0.000
B*B	1	77.17	77.175	16.12	0.000
2-Way Interaction	1	475.24	475.240	99.30	0.000
A*B	1	475.24	475.240	99.30	0.000
Error	94	449.90	4.786		
Lack-of-Fit	19	204.65	10.771	3.29	0.000
Pure Error	75	245.25	3.270		
Total	99	1630.91			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.18772	72.41%	70.95%	68.71%

Coded Coefficients

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		22.334	0.430	51.98	0.000	
A	-2.680	-1.340	0.309	-4.33	0.000	1.00
B	-2.380	-1.190	0.309	-3.85	0.000	1.00
A*A	10.343	5.171	0.523	9.89	0.000	1.00
B*B	4.200	2.100	0.523	4.02	0.000	1.00
A*B	8.720	4.360	0.438	9.96	0.000	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

Defects = 976 - 5.923 A - 43.00 B + 0.01293 A*A + 0.525 B*B + 0.1090 A*B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

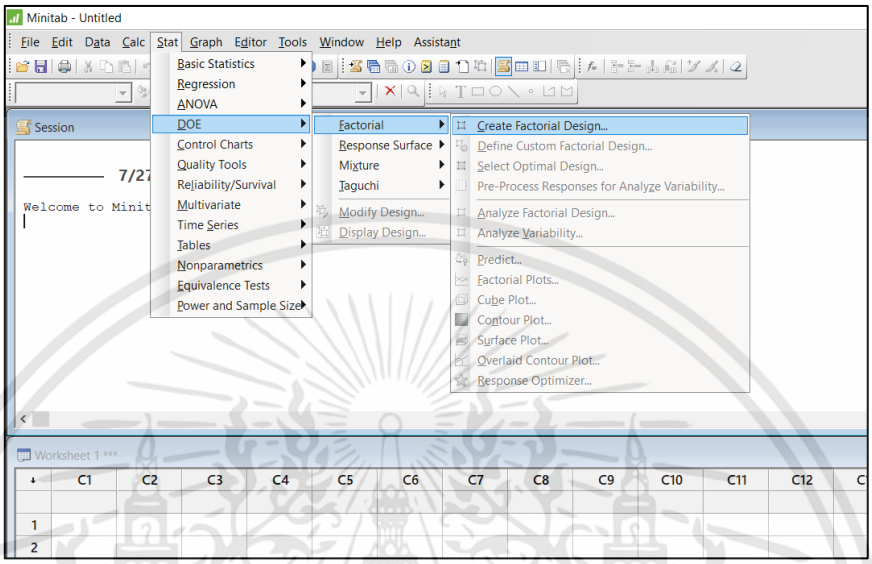
การใช้โปรแกรม Minitab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้โปรแกรม Minitab ในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป

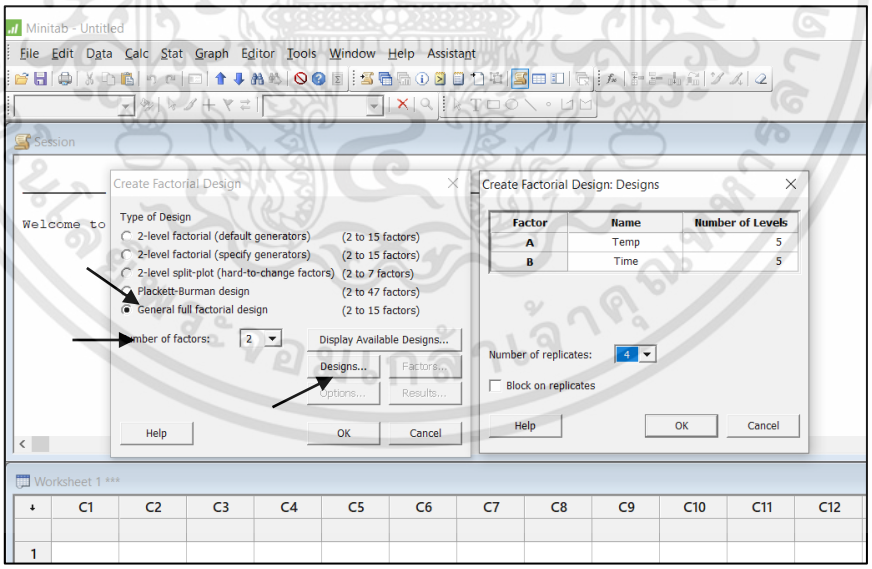
1.1 เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab 17

เลือก Stat → DOE → Factorial → Create Factorial Design ดังรูปที่ จ.1



รูปที่ จ.1 การออกแบบการทดลอง

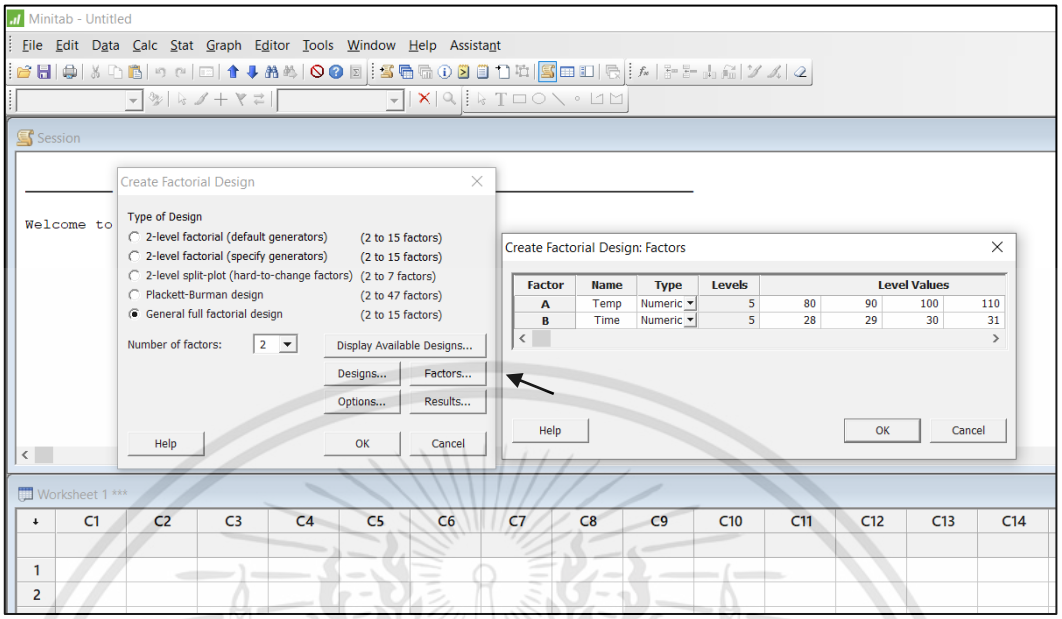
1.2 จากนั้นเลือก General full factorial design พร้อมทั้งเลือก Number of factors จากนั้นเลือก Design เพื่อกำหนดชื่อปัจจัย ระดับปัจจัย ดังรูปที่ จ.2



ดังรูปที่ จ.2 การเลือกรูปแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป จำนวนปัจจัย ระบุชื่อและระดับปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

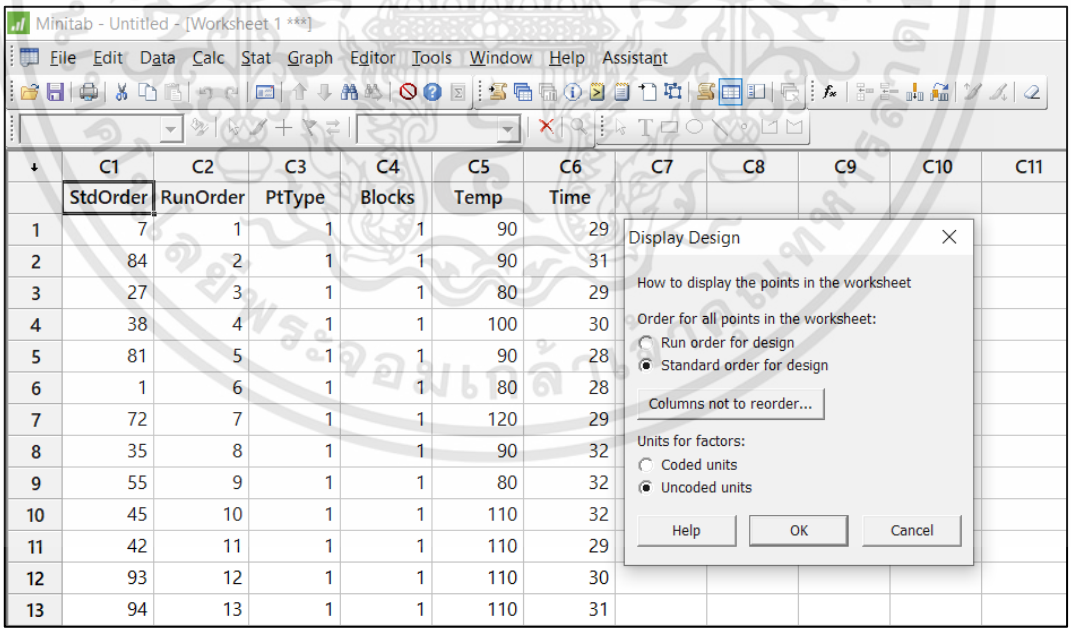
1.3 จากนั้นเลือก Factors พร้อมทั้งกำหนดค่าของระดับปัจจัย ระดับปัจจัย ดังรูปที่ จ.3



ดังรูปที่ จ.3 การใส่ค่าระดับปัจจัย

1.4 เมื่อกดตกลงก็จะได้ตารางการออกแบบการทดลองมาแบบสุ่มมา

จากนั้นเลือก Stat → DOE → Factorial → Display Design → Standard order for design เพื่อจัดเรียงลำดับในการทดลอง ดังรูปที่ จ.4



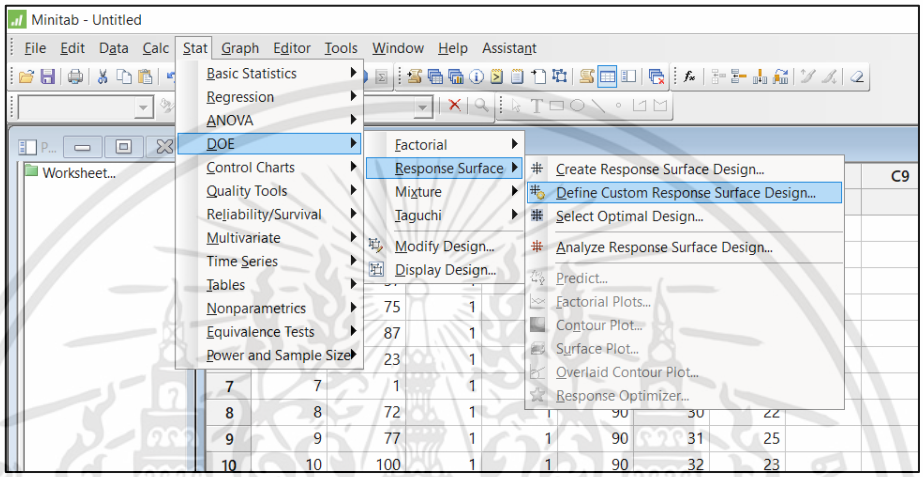
ดังรูปที่ จ.4 การเลือก Standard order for design

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เหมาะสม

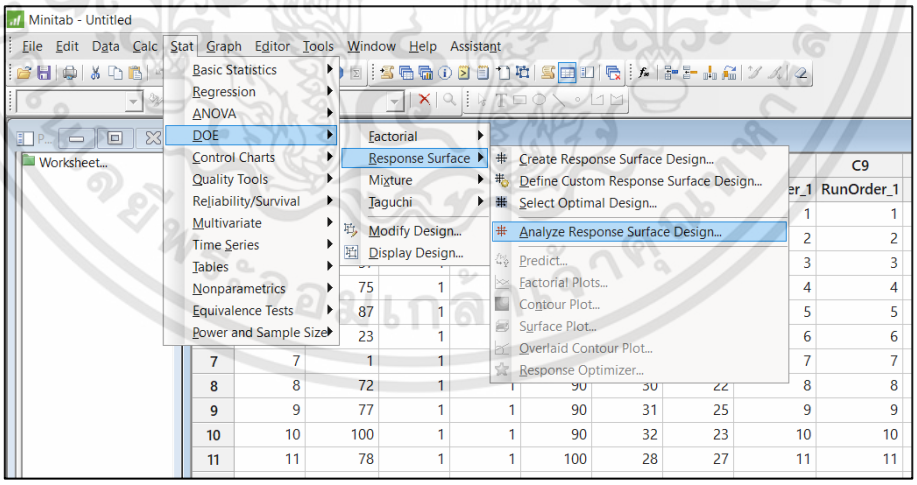
2.1 การวิเคราะห์ผล Response Surface

เลือก Stat → DOE → Response Surface → Define Custom Response Surface เพื่อกำหนดรูปแบบตารางการทดลองขึ้นมาใหม่หลังจากใส่ผลที่ได้จากการทดลอง ดังรูปที่ จ.5



ดังรูปที่ จ.5 การเลือก Define Custom Response Surface

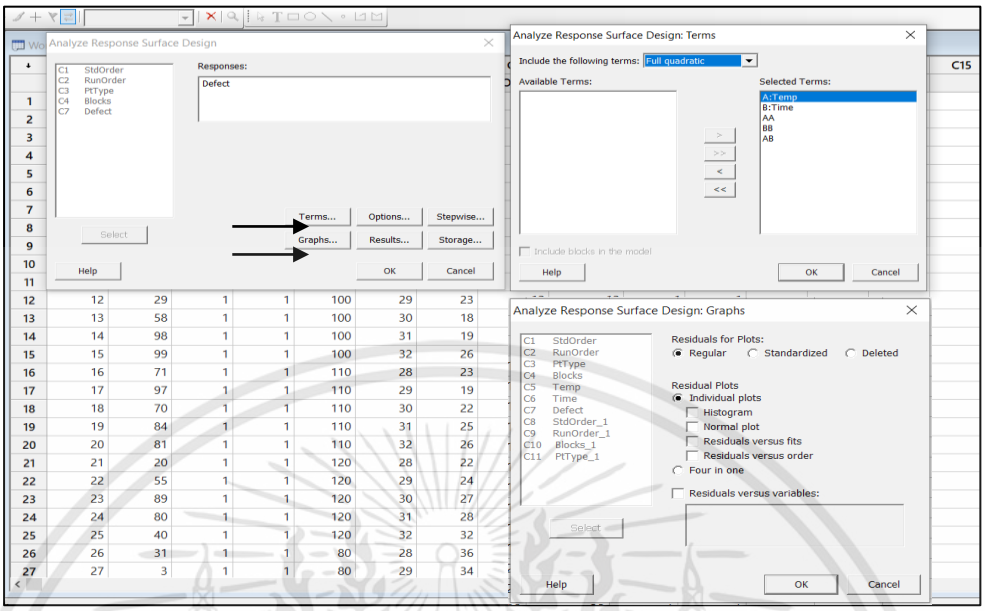
2.2 จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง เลือก Stat → DOE → Response Surface → Analyze Response surface Design ดังรูปที่ จ.6



ดังรูปที่ จ.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีพื้นผิวตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

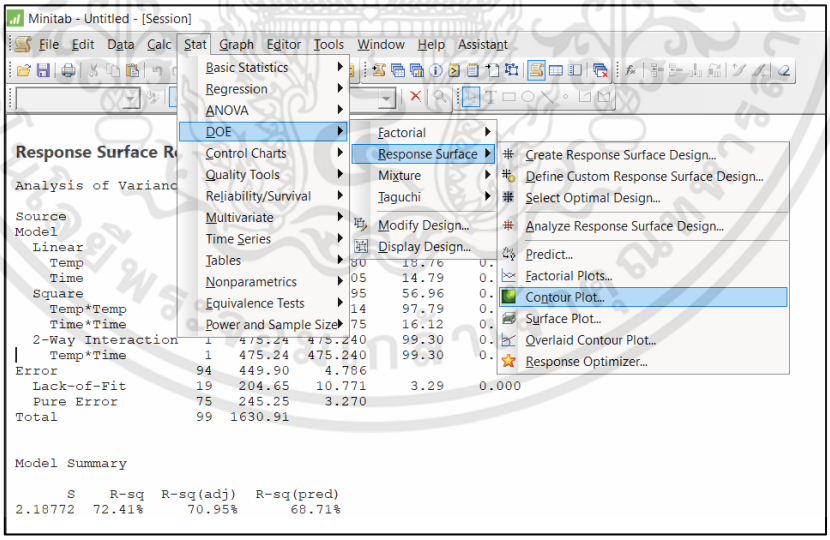
2.3 จากนั้นเลือก Term และเลือกกราฟที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผล ดังรูปที่ จ.7



ดังรูปที่ จ.7 การเลือกกำหนด Term และเลือกกราฟที่จะใช้ในการวิเคราะห์ผล

2.4 การวิเคราะห์วิธีพื้นผิวตอบสนอง โดยใช้กราฟ Contour Plot ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

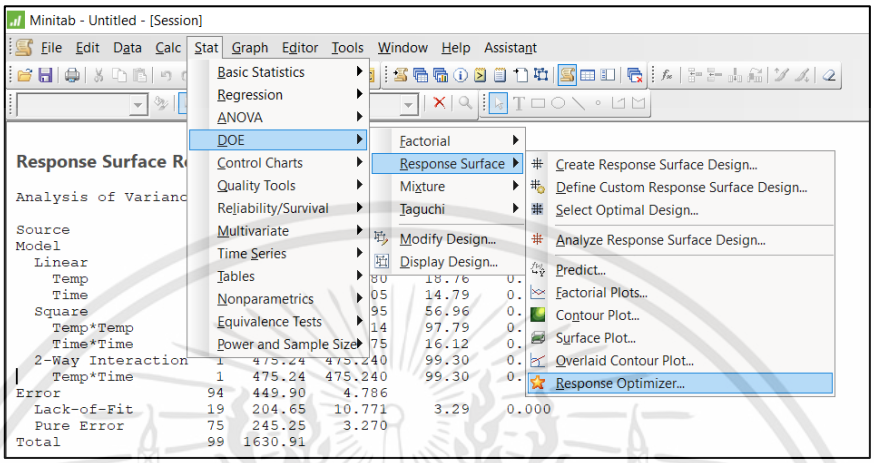
เลือก Stat → DOE → Response surface → Contour Plot ดังรูปที่ จ.8



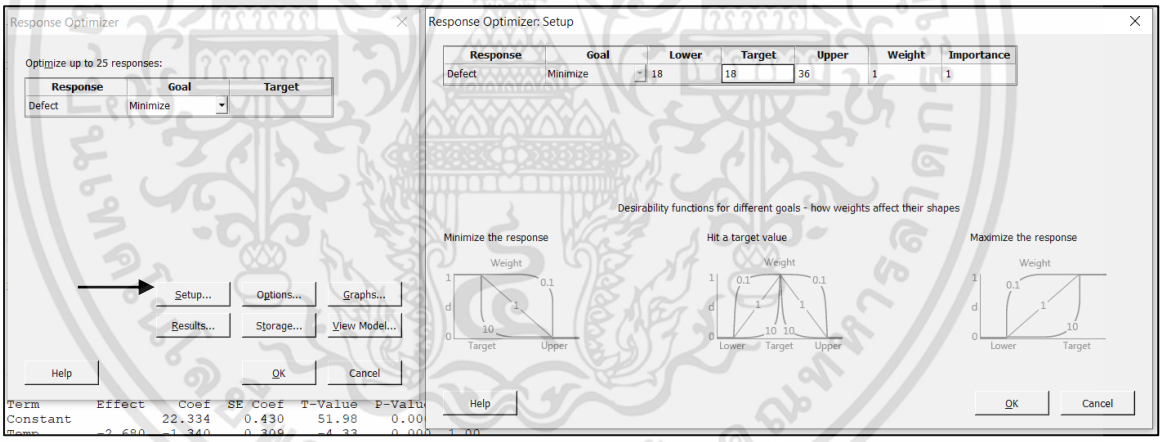
ดังรูปที่ จ.8 การเลือกคำสั่งกราฟ Contour Plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การวิเคราะห์ผลที่เหมาะสมด้วย Response Optimizer ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด เลือก Stat → DOE → Response surface → Response Optimizer ดังรูปที่ จ.9 จากนั้นกำหนดเป้าหมายในการหาผลตอบสนอง และเลือก Setup เพื่อกำหนดค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดในช่วงของค่าผลตอบสนอง ดังรูปที่ จ.10



ดังรูปที่ จ.9 การเลือกคำสั่ง Response Optimizer



ดังรูปที่ จ.10 การกำหนดเป้าหมายในการหาผลตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวณัฐนรี ระวังวงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 28 มิถุนายน 2535 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช

ที่อยู่ 76/3 หมู่ 4 ตำบลนาเหรง อำเภอนบพิตำ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80160

ประวัติการศึกษา 2556 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องนุ่งห่ม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผลงานทางวิชาการ 1. “การสืบค้นและวิเคราะห์การเกิดของเสียเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต (Investigation and Analysis of Defects to improve Manufacturing Efficiency)”. การประชุมวิชาการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้