การปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง

ว่าที่ ร.ต.หญิงปิ่นชณัณ สุวรรณชนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Tensile strength improvement of leather bracelet utilizing experimental design

Acting SubLt. Pinchanan Suwanchana

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง
โดย	ว่าที่ ร.ต.หญิงปิ่นชณัณ สุวรรณชนะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปิ่ณชณัณ สุวรรณชนะ : การปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง. (Tensile strength improvement of leather bracelet utilizing experimental design) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ ในการเพิ่มค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังให้ตรงตามเป้าหมาย คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน เพื่อลดของเสียการประกอบหลุดในผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง ซึ่งมีอัตราของเสียมากที่สุด โดยการวิจัยเริ่มจากการระดมความคิดและวิเคราะห์โดยผู้ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องประดับซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานโดยตรง ร่วมกันวิเคราะห์โดยใช้ผังก้างปลา (Cause and effect diagram) จากนั้นจึงได้นำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์ต่อด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) จากการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งนำมาจัดเรียงตามลำดับคะแนนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) และทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าความเสี่ยงสูง ที่มีสัดส่วนน้ำหนัก 80% ได้แก่ อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม, ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม และปริมาณกาวไม่เหมาะสม ซึ่งคาดว่ามีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยสายหนังเป็นอย่างมาก มาใช้ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) โดยทำการทดลองปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง ทดลองครั้งละ 10 ชิ้น จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 โดยมวล, ปริมาณกาว 12 กรัม และขนาดหัวบีบ 2.7 มิลลิเมตร ผลการดำเนินการปรับปรุงพบว่า สามารถเพิ่มค่าแรงดึงเฉลี่ยตรงตามเป้าหมาย โดยก่อนปรับปรุงค่าแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 70.30 นิวตัน เพิ่มขึ้นเป็น 111.40 นิวตัน ที่หลังปรับปรุง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากก่อนปรับปรุง 58.46%

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6272052921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: factor, reduction, 3k factorial experimental design, assembly failure

Pinchanan Suwanchana : Tensile strength improvement of leather bracelet utilizing experimental design. Advisor: Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, D.Eng.

This research aims to improve tensile strength of leather bracelet chain with a target of the tensile strength is greater than or equal to 78 newtons. This research started with brainstorming and analysis by jewelry experts. Analyzed by using Cause and effect diagram, then all the factors were analyzed with Cause and Effect Matrix, as well as an analysis of the defects and effects by Failure Mode and Effects Analysis from Risk Priority Number account for 80 percent was a ratio of glue mixing, the amount of glue and the size of crimp tool. classified by using Pareto Diagram The 3^k factorial experimental design was used as a method in this research. The experiments were tested each factor at 3 levels. Also, the experiments were replicated and a total number of the experiments was 54 experiments. Each experiment was tested with 10 pieces. After data collection and analysis, the result showed that an appropriate factors level used in standard-setting was a ratio of glue mixing Resin : Hardener as 1 : 0.6 parts by weight, the amount of glue as 12 grams and the size of crimp tool as 2.7 millimeter. Then, the result from this experiment was used in assembly process for a leather bracelet chain and it was found that the average of tensile strength was 111.40 newtons. It can be concluded, an increasing on tensile strength causes a reduction of assembly failure 58.46 percent.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Industrial Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2020 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ การให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการวิจัย ติดตามความคืบหน้าและช่วยแก้ไขเพิ่มเติมรายละเอียดจาก ศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ด้วยที่ให้คำแนะนำในเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเป็นเล่มที่สมบูรณ์

นอกจากนี้ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษา ที่สนับสนุนข้อมูล รวมทั้งเพื่อนร่วมงาน และพนักงานที่เกี่ยวข้องที่ให้ความสนับสนุนและให้ความร่วมมือในการปรับปรุงแก้ไขเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ น้อง เพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจ และช่วยเหลือ สนับสนุน จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปิ่นชณัณ สุวรรณชนะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา 2

1.2 ความเป็นมาของปัญหา 4

1.3 วัตถุประสงค์ 19

1.4 ขอบเขตการวิจัย 19

1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย 19

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 20

1.7 แผนการดำเนินการวิจัย 21

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ 22

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาว 28

2.2.1 การแบ่งประเภทของกาว 28

2.2.2 อีพอกซีเรซิน 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 เทคนิคการควบคุมคุณภาพ 33
2.3.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) 35
2.3.2 ผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) 36
2.3.3 แผนภูมิควบคุม (Statistical Process Control Chart) 39
2.4 เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) 43
2.5 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design Experiment) 45
2.5.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) 46
2.5.2 การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design 48
2.5.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) 50
2.5.4 การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐาน (Sample size) 51
2.5.5 แนวทางในการออกแบบการทดลอง 52
2.5.6 หลักการใช้ในการออกแบบการทดลอง 53
2.5.7 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบจำลอง 54
2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA) 56
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลอง 59
3.1 การกำหนดปัญหา (Problem Identification) 59
3.2 กำหนดปัจจัย (Factors Identification) 82
3.3 ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) 83
3.3.1 กำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 83
3.3.2 กำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง 90
3.3.3 กำหนดการทดลอง 91
3.4 ขั้นการทดลอง 94
3.4.1 ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.2 วิธีการทดสอบแรงดึงของชิ้นงาน 97
3.5 วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data) 99
3.5.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) 99
3.5.2 การทดสอบสมมติฐาน 99
3.5.3 ตัวแปรตอบสนอง (Response) 100
3.5.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการ 100
3.5.5 ผลการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสม (Respond Optimizer) 100
3.5.6 ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล 100
3.6 สรุปผล (Conclusion) 101
3.6.1 เงื่อนไขในการสรุปผล 101
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง 102
4.1 ผลการทดลอง 102
4.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง 104
4.2.1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง 105
4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง 106
4.2.3 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน 107
4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 108
4.3.1 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก 109
4.3.2 การทดสอบสมมติฐานของอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย 109
4.4 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer) 115
4.5 ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล 117
4.5.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ 117
4.5.2 การเตรียมการทดลอง 117
4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง 117

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.5.4 ผลการทดลองหลังการปรับปรุงการผลิต 117
4.5.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล 119
4.6 แนวทางการควบคุม 121
4.7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) หลังการปรับปรุง 123
4.8 เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 129
4.9 สรุปขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล 134
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 135
5.1 สรุปผลการวิจัย 135
5.2 ข้อเสนอแนะ 136
ภาคผนวก ก ข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy ที่ใช้ 137
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 139
บรรณานุกรม 149
ประวัติผู้เขียน 152

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ข้อมูลการขายและการรับคืนสินค้าจากลูกค้า ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 4

ตารางที่ 1-2 เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้าในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 5

ตารางที่ 1-3 เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้าของกลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 6

ตารางที่ 1-4 ข้อมูลอาการงานเสียของสร้อยข้อมือสายหนัง ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 7

ตารางที่ 1-5 แผนการดำเนินการวิจัย 21

ตารางที่ 2-1 การคำนวณดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง 39

ตารางที่ 2-2 การประเมินอัตราศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น (C_p) 40

ตารางที่ 2-3 การประเมินอัตราความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (C_{pk}) 40

ตารางที่ 2-4 สรุปการประเมินอัตราศักยภาพและอัตราความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (C_p และ C_{pk}) 42

ตารางที่ 2-5 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน 47

ตารางที่ 2-6 เทอมหรือแหล่งความผันแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ Full Factorial Design 49

ตารางที่ 3-1 ทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของกระบวนการประกอบ 66

ตารางที่ 3-2 คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผลของปัจจัย ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 68

ตารางที่ 3-3 คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผลของแต่ละปัจจัย ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 69

ตารางที่ 3-4 ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ลำดับที่ 1 ถึง 7 70

ตารางที่ 3-5 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S - Severity) 74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3-6 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O - Occurrence) 75

ตารางที่ 3-7 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D - Detection)..... 76

ตารางที่ 3-8 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง 77

ตารางที่ 3-9 เรียงลำดับค่าความเสี่ยง ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 81

ตารางที่ 3-10 ปัจจัยที่ทำการคัดเลือก 3 ลำดับแรกตามค่าความเสี่ยง..... 82

ตารางที่ 3-11 ปัจจัยและค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง 83

ตารางที่ 3-12 ข้อมูลกราฟ Process Capability Sixpack Report ค่าแรงดึงของชิ้นงานในการทดสอบ (ปัจจุบัน)..... 90

ตารางที่ 3-13 ลำดับการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ... 91

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)..... 102

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบสามระดับ 108

ตารางที่ 4-3 Coded Coefficients ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) 110

ตารางที่ 4-4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 111

ตารางที่ 4-5 การปรับแต่ละระดับปัจจัยเพื่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังมากที่มากที่สุด 116

ตารางที่ 4-6 แนวทางการผสมกาว Resin : Hardener ต่อหนึ่งครั้ง..... 121

ตารางที่ 4-7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง หลังการปรับปรุง 124

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง..... 128

ตารางที่ 4-9 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 129

ตารางที่ 4-10 ปริมาณกาว 1 ชุด ที่ใช้ในการประกอบ ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ..... 130

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข1 ค่าแรงดึงของชิ้นงานสร้อยข้อมือสายหนัง ในคลังสินค้าในปัจจุบัน ก่อนปรับปรุง 140

ตารางที่ ข2 ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 1 โดยมวล.....141

ตารางที่ ข3 ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 0.8 โดยมวล 143

ตารางที่ ข4 ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 0.6 โดยมวล 145

ตารางที่ ข5 ค่าแรงดึงตามผลระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง หลังปรับปรุง 147

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ตัวอย่างงานจี้ 2

รูปที่ 1-2 ตัวอย่างงานแหวน 2

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างงานสร้อยข้อมือ 3

รูปที่ 1-4 ตัวอย่างงานสร้อยคอ 3

รูปที่ 1-5 ตัวอย่างงานต่างหู 3

รูปที่ 1-6 แผนภูมิแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 . 4

รูปที่ 1-7 แผนภูมิแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 5

รูปที่ 1-8 แผนภูมิแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ของกลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 6

รูปที่ 1-9 แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อมูลอาการงานเสียของสร้อยข้อมือสายหนัง ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562 7

รูปที่ 1-10 ตำแหน่งการประกอบหลุดของสร้อยข้อมือสายหนังที่ได้รับคืนจากลูกค้า 8

รูปที่ 1-11 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง 9

รูปที่ 1-12 ขั้นตอนกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง 13

รูปที่ 1-13 ส่วนประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง 13

รูปที่ 1-14 ขนาดของชิ้นส่วนในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง 14

รูปที่ 1-15 การประกอบแผ่นสเตนเลสเข้ากับสายหนัง โดยใช้คีมบีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร 14

รูปที่ 1-16 การย้ำด้วยเครื่องตอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร 15

รูปที่ 1-17 การบีบด้วยเครื่องบีบ หัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.80 มิลลิเมตร 15

รูปที่ 1-18 ชิ้นงานหลังการผ่านการบีบด้วยเครื่องบีบ 15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 1-19 การผสมกาวใส่หลอดเข็ม 16
รูปที่ 1-20 การหยอดกาวในรูฝาท้ายชิ้นงาน และประกอบเข้ากับชิ้นงานสายหนังที่ทำการบีบประกอบกับแผ่นสเตนเลส 16
รูปที่ 1-21 การอบกาวด้วยเครื่องอบ 16
รูปที่ 1-22 ชิ้นงานสำเร็จหลังการทดสอบด้วยเครื่องวัดแรงดึง 17
รูปที่ 1-23 กราฟ Probability Plot ค่าแรงดึงของชิ้นงานสำเร็จ 17
รูปที่ 1-24 กราฟ Process Capability ค่าแรงดึงของงานชิ้นงานสำเร็จ 18
รูปที่ 2-1 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตเครื่องประดับ 23
รูปที่ 2-2 ขั้นตอนการทำแบบแม่พิมพ์ 24
รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการทำแบบแม่พิมพ์ยาง 25
รูปที่ 2-4 ขั้นตอนการฉีดเทียนทำตัวเรือน 26
รูปที่ 2-5 ต้นงานเทียนหลังจากเทปูนลงในเบ้าโลหะ 26
รูปที่ 2-6 การยึดติดของกาว 28
รูปที่ 2-7 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) 35
รูปที่ 2-8 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) 37
รูปที่ 2-9 ขั้นตอนการสร้างผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา 38
รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ 40
รูปที่ 2-11 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ 45
รูปที่ 2-12 ตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอิทธิพลหลัก (Main Effect) 49
รูปที่ 2-13 ตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอันตรกิริยา (Interaction Effect) 49
รูปที่ 2-14 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลอง เชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ ที่ 3^2 51
รูปที่ 2-15 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้างที่มีการแจกแจงแบบปกติ 54
รูปที่ 2-16 กราฟแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล 55

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2-17 กราฟแสดงค่าความแปรปรวนที่มีเสถียรภาพ 55
รูปที่ 2-18 กราฟแสดงค่าความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพ 56
รูปที่ 2-19 ตัวอย่างระดับความแม่นและเที่ยง 56
รูปที่ 2-20 ไบอัสของระบบการวัด 57
รูปที่ 2-21 ความผันแปรในส่วนรีพีททะบิลิตี้ 58
รูปที่ 2-22 ความผันแปรในส่วนรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ 58
รูปที่ 3-1 ชิ้นงานในการทดสอบค่าแรงดึง 59
รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง 60
รูปที่ 3-3 เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) 61
รูปที่ 3-4 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในการสอบเทียบ 61
รูปที่ 3-5 จำลองการใส่ชิ้นงานเข้าเข้ากับจิ๊ก (Jig) ของเครื่องวัดแรงดึง 62
รูปที่ 3-6 จำลองการหนีบยึดชิ้นงานของเครื่องวัดแรงดึง 62
รูปที่ 3-7 ตัวอย่างชิ้นงานหลังจากผ่านการทดสอบค่าแรงดึง 63
รูปที่ 3-8 กราฟ Probability Plot ค่าแรงดึงของงานในการทดสอบ 63
รูปที่ 3-9 กราฟ Process Capability ค่าแรงดึงของงานในการทดสอบ 64
รูปที่ 3-10 กราฟ Process Capability เปรียบเทียบค่าแรงดึงก่อนการปรับปรุง ระหว่างชิ้นงานสำเร็จในคลังกับชิ้นงานทดสอบที่ควบคุมกระบวนการ 65
รูปที่ 3-11 การวิเคราะห์แผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) แสดงสาเหตุค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด 67
รูปที่ 3-12 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผล ต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 70
รูปที่ 3-13 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ 71
รูปที่ 3-14 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับค่าความเสี่ยง ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 81
รูปที่ 3-15 ขนาดฝาท้ายชิ้นงาน 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-16 ขนาดส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก เมื่อความหนาของกาวอยู่เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร 85
รูปที่ 3-17 ขนาดชิ้นส่วนของชิ้นงาน เมื่อใช้หัวบีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร 86
รูปที่ 3-18 ขนาดชิ้นส่วนของชิ้นงาน เมื่อใช้หัวบีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.8 มิลลิเมตร 87
รูปที่ 3-19 ขนาดชิ้นส่วนของชิ้นงาน เมื่อใช้หัวบีบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร 87
รูปที่ 3-20 แผ่นสเตนเลส 94
รูปที่ 3-21 สายหนัง 94
รูปที่ 3-22 คีมบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร 94
รูปที่ 3-23 เครื่องตอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร 95
รูปที่ 3-24 เครื่องบีบ 95
รูปที่ 3-25 กาว Resin (สีขาว) และ กาว Hardener (สีฟ้า) 96
รูปที่ 3-26 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลสำหรับห้องปฏิบัติการ 96
รูปที่ 3-27 เครื่องหยอดกาวและหลอดเข็ม 96
รูปที่ 3-28 ฝาท้ายชิ้นงาน 96
รูปที่ 3-29 เครื่องอบ 97
รูปที่ 3-30 หนีบยึดชิ้นงานของเครื่องวัดแรงดึง 98
รูปที่ 4-1 กราฟการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ 105
รูปที่ 4-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล 106
รูปที่ 4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต 107
รูปที่ 4-4 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 112
รูปที่ 4-5 อันตรกิริยาของปัจจัยทั้งหมดต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง 113
รูปที่ 4-6 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ระหว่าง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว 114
รูปที่ 4-7 ค่าการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมที่กำหนด 115

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-8 ค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง) 118

รูปที่ 4-9 ความเป็นปกติของค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง) 119

รูปที่ 4-10 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าแรงดึงหลังการปรับปรุง 120

รูปที่ 4-11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ส่งผล ต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังการปรับปรุง 128

รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง (ก่อน-หลังปรับปรุง) 131

รูปที่ 4-13 กราฟการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ เปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง (ก่อน-หลังปรับปรุง) 132

รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบค่าแรงดึงของการประกอยสร้อยข้อมือสายหนัง (ก่อน-หลังปรับปรุง) 133

รูปที่ ก1 ข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy ที่ใช้ 138

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องประดับมีความพยายามที่จะพัฒนาองค์กรในทุก ๆ ด้าน เนื่องด้วยสภาวะการแข่งขันในตลาดอุตสาหกรรมที่สูงและสถานการณ์เศรษฐกิจค่อนข้างซบเซา ทำให้ภาพรวมของธุรกิจเครื่องประดับนั้นได้รับผลกระทบอยู่ไม่น้อย เนื่องจากเครื่องประดับเป็นสินค้าในกลุ่มแฟชั่น ถือว่าเป็นกลุ่มสินค้าฟุ่มเฟือยและไม่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตมากนัก การตัดสินใจซื้อส่วนใหญ่จึงไม่ได้มาจากประโยชน์ใช้สอย แต่มาจากความพึงพอใจเป็นหลัก จึงส่งผลให้เครื่องประดับนั้นเป็นสินค้ากลุ่มแรก ๆ ที่ผู้บริโภคลดการใช้จ่ายลง ในสภาวะเศรษฐกิจที่ชะลอตัว ดังนั้นเพื่อความอยู่รอดขององค์กร จึงจำเป็นต้องมีการปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ควบคู่กับการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุดและตอบสนองความต้องการนั้นให้ตรงจุด ทั้งในเรื่องของความสวยงาม คุณภาพสินค้าและการบริการ ซึ่งจะเป็นการสร้างความประทับใจ ดึงดูดลูกค้าให้กลับมาซื้อซ้ำ รวมถึงการบอกต่อ ไปยังกลุ่มอื่น ๆ ให้มาซื้อสินค้า ดังนั้นในส่วนของโรงงานผลิต จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องของคุณภาพของสินค้า เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ซึ่งจะนำไปสู่ความยั่งยืนขององค์กร

โรงงานกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับมีการผลิตสินค้าหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์ อันได้แก่ จี้ แหวน สร้อยข้อมือ สร้อยคอ และต่างหู ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพได้แก่ สร้อยข้อมือสายหนัง เนื่องจากสร้อยข้อมือสายหนังที่ได้มีการผลิตและออกไปวางจำหน่าย เกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้า โดยมีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) สูงที่สุดเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ทั้งหมด อันเนื่องมาจากสาเหตุสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงาน โดยการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังนั้นจะเป็นการยึดเกาะด้วยกาว ซึ่งเรียกอาการงานเสียนี้ว่า การประกอบหลุด เมื่อทวนสอบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง พบว่าแค่แรงดึงไม่อยู่ในเป้าหมาย คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในแง่ของเวลาสูญเปล่า ค่าใช้จ่ายแรงงานที่เพิ่มขึ้นและความพึงพอใจในสินค้าของของลูกค้าลดลง ดังนั้นทางโรงงานกรณีศึกษามีความจำเป็นที่ต้องทำการปรับปรุงค่าแรงดึงให้ตรงตามเป้าหมายและแก้ไขปัญหาสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงาน เพื่อลดต้นทุนความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นและสร้างความพึงพอในใจสินค้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเน้นที่การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อค่าปัจจัยที่เหมาะสม ที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.1 ข้อมูลโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษา เป็นอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับมีการผลิตสินค้าแบ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ ได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้

1) จี้

งานจี้ คืองานที่มีลักษณะไว้ร้อยเข้ากับสร้อยขนาดต่าง ๆ โดยจะมีห่วงอยู่ด้านบนชิ้นงาน ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนที่ร้อยเข้ากับสร้อย ซึ่งห่วงของชิ้นงานจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มากกว่า 4.35 มิลลิเมตร

รูปที่ 1-1 ตัวอย่างงานจี้

2) แหวน

งานแหวน คืองานที่มีลักษณะเป็นวงกลมไว้สวมกับนิ้วมือ โดยมีไซส์ที่เป็นขนาดมาตรฐานที่ทางโรงงานกรณีศึกษาทำการผลิต คือ 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58 และ 60

รูปที่ 1-2 ตัวอย่างงานแหวน

จุฬาลงกรณ์
CHULALONGKO

3) สร้อยข้อมือ

งานสร้อยข้อมือ คืองานที่มีลักษณะเป็นวงกลมไว้สวมกับข้อมือ จะมีทั้งสร้อยที่เป็นโลหะและสายหนัง โดยจะมีขนาดมาตรฐานที่ทางโรงงานกรณีศึกษาทำการผลิต คือ 17 เซนติเมตร, 19 เซนติเมตร และ 21 เซนติเมตร

รูปที่ 1-3 ตัวอย่างงานสร้อยข้อมือ

4) สร้อยคอ

งานสร้อยคอ คืองานที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว ไว้สวมกับคอ โดยจะมีขนาดมาตรฐานที่ทางโรงงานกรณีศึกษาทำการผลิต คือ 45 เซนติเมตร, 60 เซนติเมตร, 75 เซนติเมตร และ 90 เซนติเมตร

รูปที่ 1-4 ตัวอย่างงานสร้อยคอ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5) ต่างหู

งานต่างหู คืองานที่มีลักษณะงานที่มีขา สำหรับสอดเข้ารูหูและมีแป้นล็อคด้านหลัง หรือลักษณะเป็นห่วงสำหรับสอดเข้ารูหู โดยต่างหูจะมีทั้งแบบเหมือนกันทั้ง 2 ข้างและแบบไม่เหมือนกันของ 2 ข้าง

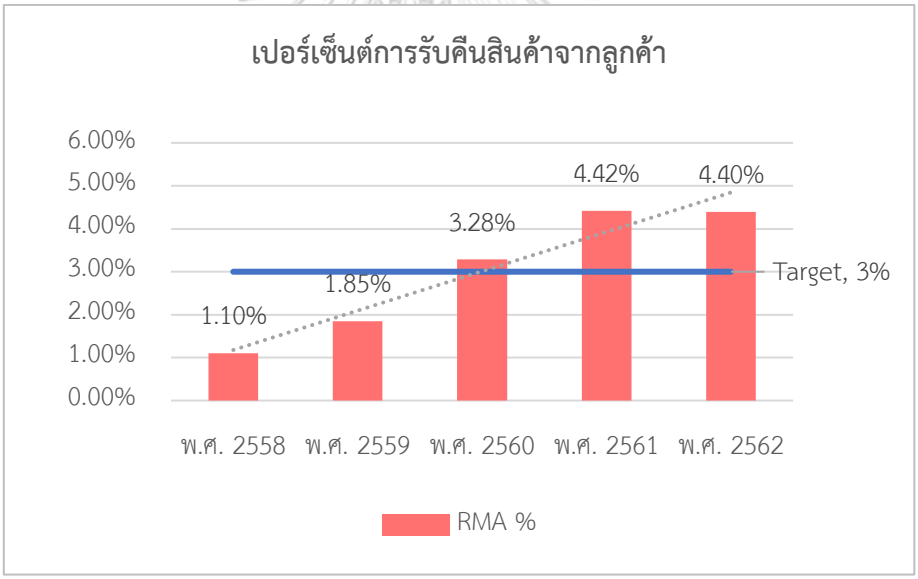
รูปที่ 1-5 ตัวอย่างงานต่างหู

1.2 ความเป็นมาของปัญหา

โรงงานกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับมีการผลิตสินค้าหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์ อันได้แก่ จี้ แหวน สร้อยข้อมือ สร้อยคอ และต่างหู จากข้อมูล ปี พ.ศ.2558 ถึง ปี พ.ศ.2562 พบว่าเกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้า โดยมีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ดังนี้

ตารางที่ 1-1 ข้อมูลการขายและการรับคืนสินค้าจากลูกค้า ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

ปี	พ.ศ. 2558	พ.ศ. 2559	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2561	พ.ศ. 2562
จำนวนขาย (ชิ้น)	6,854,294	7,401,269	8,969,772	11,018,742	14,335,892
จำนวนคืน (ชิ้น)	75,544	126,658	225,029	303,145	301,509
การรับคืนสินค้า (%)	**1.10%**	**1.85%**	**3.28%**	**4.42%**	**4.40%**



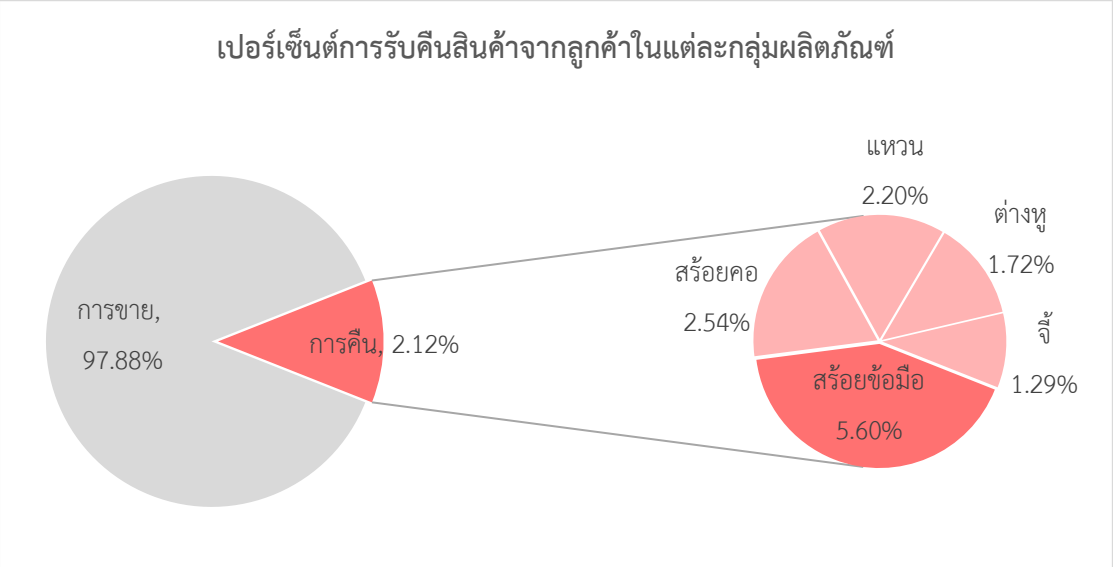
รูปที่ 1-6 แผนภูมิแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า
ปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

สำหรับเป้าหมายการยอมรับเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ของโรงงานกรณีศึกษา คือ ไม่เกิน 3% โดยจากรูปที่ 1-6 พบว่า ในปี พ.ศ.2560 ถึง ปี พ.ศ.2562 มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า มากกว่า 3% ซึ่งเกินกว่าเป้าหมายการยอมรับ

จากนั้นนำข้อมูลมาจำแนกเป็นแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ เพื่อดูว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์ใดที่มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) มากที่สุด ข้อมูลดังแสดงตาราง

ตารางที่ 1-2 เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้าในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562

กลุ่มผลิตภัณฑ์	จำนวนขาย (ชิ้น)	จำนวนคืน (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า
สร้อยข้อมือ	6,306,563	353,264	5.60%
สร้อยคอ	2,526,859	64,304	2.54%
แหวน	9,152,737	201,716	2.20%
ต่างหู	4,064,751	69,756	1.72%
จี้	26,529,059	342,845	1.29%
ผลรวม	**48,579,969**	**1,031,885**	**2.12%**



รูปที่ 1-7 แผนภูมิแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า
ในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

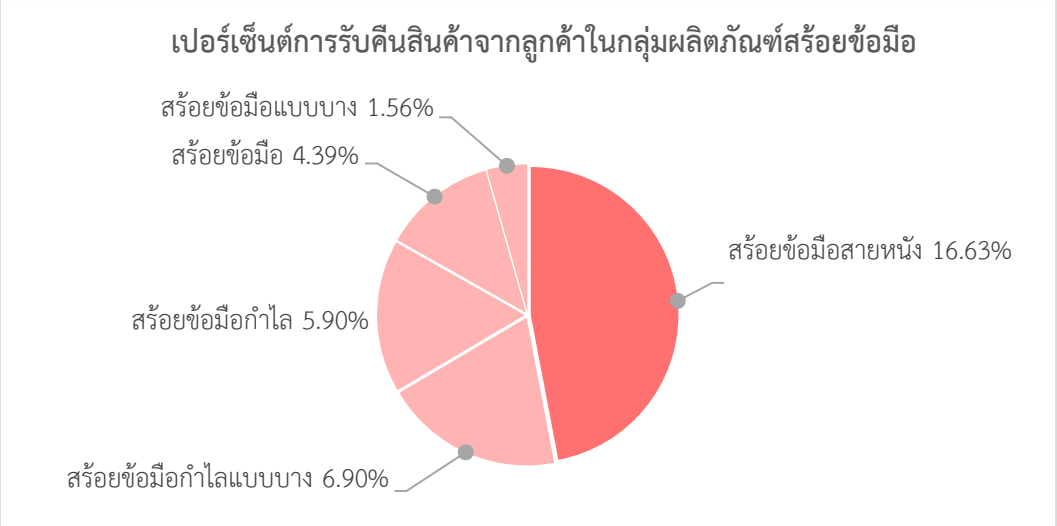
เมื่อนำข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 หากดูผลรวมของเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า พบว่าอยู่ที่ 2.12% ซึ่งถือว่าไม่เกินเป้าหมายในการยอมรับเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า โดยเป้าหมายของโรงงานกรณีศึกษา คือ ไม่เกิน 3%

แต่หากพิจารณาแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ จะพบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ เป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) มากที่สุด อยู่ที่ 5.60% ซึ่งเกินกว่าเป้าหมายในการยอมรับ ในขณะที่กลุ่มผลิตภัณฑ์อื่น ๆ มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ไม่เกิน 3% ซึ่งอยู่ในเป้าหมายการยอมรับ

เมื่อนำข้อมูลกลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ มาจำแนกเป็นแต่ละกลุ่ม เพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือกลุ่มใด ที่มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้ามากที่สุด แสดงข้อมูลดังตาราง

ตารางที่ 1-3 เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้าของกลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

กลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ	จำนวนขาย (ชิ้น)	จำนวนคืน (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า
สร้อยข้อมือสายหนัง	533,020	88,627	16.63%
สร้อยข้อมือกำไลแบบบาง	62,041	4,279	6.90%
สร้อยข้อมือกำไล	1,168,062	68,919	5.90%
สร้อยข้อมือ	4,258,800	186,988	4.39%
สร้อยข้อมือแบบบาง	284,640	4,451	1.56%
ผลรวม	**6,306,563**	**353,264**	**5.60%**



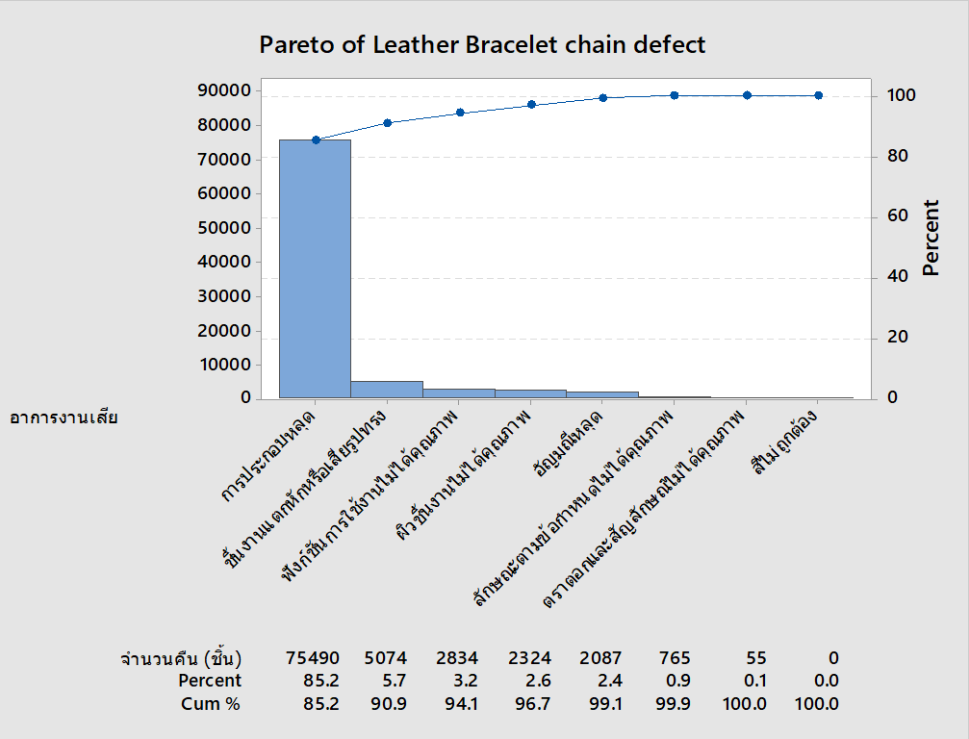
รูปที่ 1-8 แผนภูมิแสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ของกลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

จากข้อมูลเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ของกลุ่มผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือ พบว่า ผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้ามากที่สุด อยู่ที่ 16.63%

จากนั้นจึงนำข้อมูลการคืนสินค้าของผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง มาจำแนกจำนวนการคืนสินค้า และเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า ตามอาการงานเสีย แสดงข้อมูลดังตาราง

ตารางที่ 1-4 ข้อมูลอาการงานเสียของสร้อยข้อมือสายหนัง ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

อาการงานเสียของสร้อยของข้อมือสายหนัง	**จำนวนคืน (ชิ้น)**	**เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า**
การประกอบหลุด	75,490	85.18%
ชิ้นงานแตกหักหรือเสียรูปทรง	5,074	5.72%
ฟังก์ชันการใช้งานไม่ได้คุณภาพ	2,834	3.20%
ผิวชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ	2,324	2.62%
อัญมณีหลุดหรือหาย	2,087	2.35%
ลักษณะตามข้อกำหนดไม่ได้คุณภาพ	765	0.86%
ตราตอกและสัญลักษณ์ไม่ได้คุณภาพ	55	0.06%
สีไม่ถูกต้อง	0	0.00%
ผลรวม	**88,627**	**100.00%**



รูปที่ 1-9 แผนภูมิพาเรโตแสดงข้อมูลอาการงานเสียของสร้อยข้อมือสายหนัง ในปี พ.ศ. 2558 ถึง ปี พ.ศ. 2562

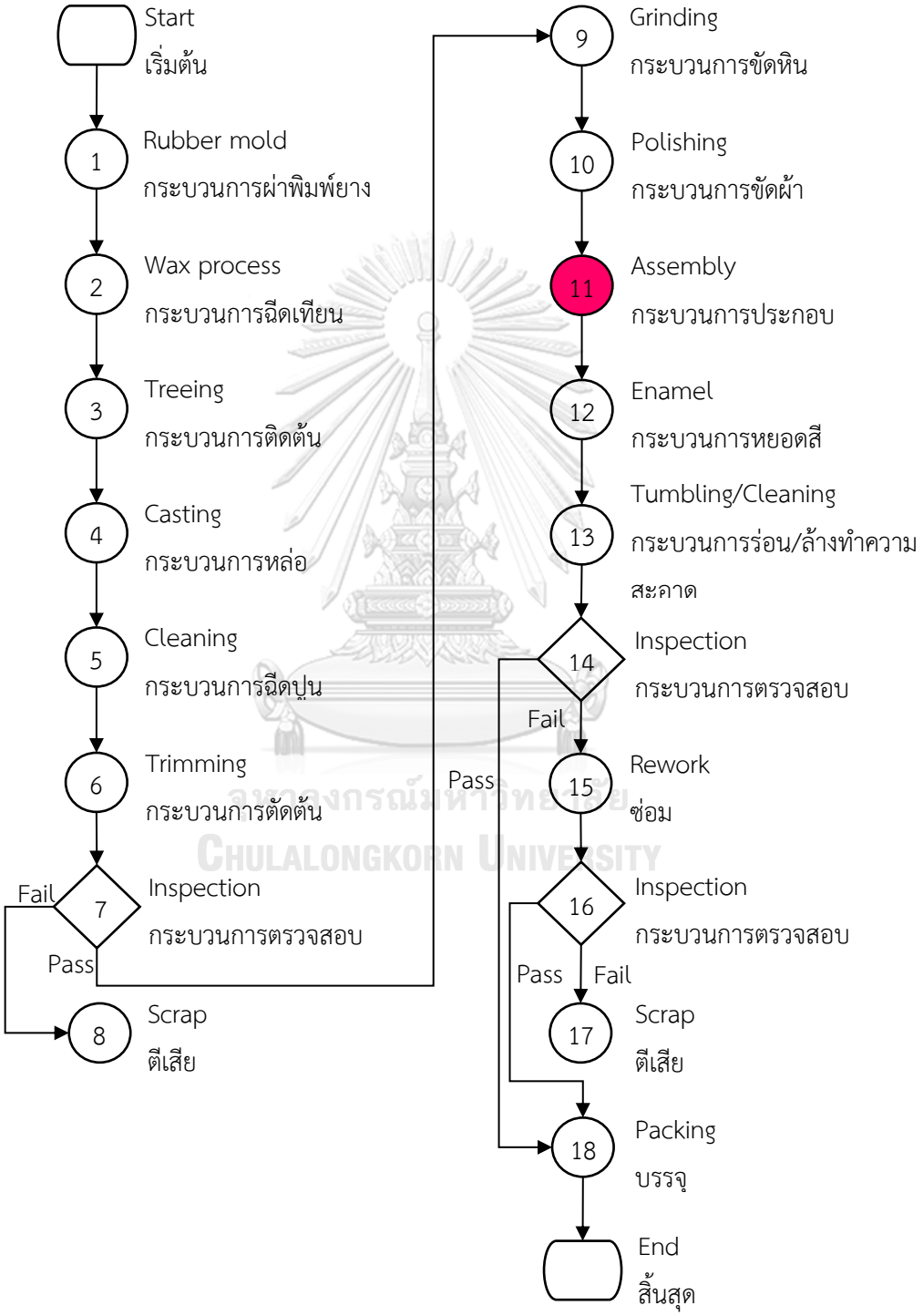
จากแผนภูมิพาเรโต แสดงให้เห็นว่าจากการรับคืนสินค้าจากลูกค้า อาการงานเสียที่มีมากที่สุดคือ การประกอบหลุด โดยมีสัดส่วนของเสียมากถึง 85.18% คิดเป็นของเสียจำนวน 75,490 ชิ้น อันดับสองคือ ชิ้นงานแตกหักหรือเสียรูปทรง 5.72% คิดเป็นของเสียจำนวน 5,074 ชิ้น และรองลงมาคือ ฟังก์ชันการใช้งานไม่ได้คุณภาพ 3.20% คิดเป็นของเสียจำนวน 2,834 ชิ้น ผิวชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ 2.62% คิดเป็นของเสียจำนวน 2,324 ชิ้น อัญมณีหลุด 2.35% คิดเป็นของเสียจำนวน 2,087 ชิ้น ลักษณะตามข้อกำหนดไม่ได้คุณภาพ 0.86% คิดเป็นของเสียจำนวน 765 ชิ้น และ ตราตอกและสัญลักษณ์ไม่ได้คุณภาพ 0.06% คิดเป็นของเสียจำนวน 55 ชิ้น ตามลำดับ

โดยลักษณะการประกอบหลุด ที่พบจะเป็นการหลุดระหว่างแผ่นสเตนเลส ที่มีการบีบกับเข้ากับสายหนัง กับฝาท้ายชิ้นงาน ดังรูป

รูปที่ 1-10 ตำแหน่งการประกอบหลุดของสร้อยข้อมือสายหนังที่ได้รับคืนจากลูกค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากข้อมูลข้างต้น จึงมีการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง เพื่อวิเคราะห์หากระบวนการที่ทำให้เกิดของเสีย โดยกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนังอธิบายเป็นแผนผัง ได้ดังนี้



รูปที่ 1-11 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง มีขั้นตอนการผลิต ดังรูปที่ 1-11 ซึ่งแต่ละขั้นตอน อธิบายกระบวนการผลิตได้ดังนี้

1) Rubber mold (กระบวนการผ่าพิมพ์ยาง)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์จากยาง สำหรับฉีดเทียน เริ่มต้นทำการใช้ ชิ้นงานต้นแบบวางลงบนแผ่นยาง แล้วประกบยางเป็นชั้น ๆ ให้เต็มชิ้นงานต้นแบบ โดย ชิ้นงานต้นแบบจะเป็นต้นแบบที่จะทำการทำซ้ำ (Duplicate) จากนั้นนำยางที่ประกบเสร็จแล้วใส่เข้าบล็อคเหล็กและนำไปเข้าเครื่องอัดพิมพ์ยาง ตั้งเวลาการอัดตามจำนวนแผ่นยางที่ใช้อัดพิมพ์ เมื่อทำการอัดพิมพ์ยางเสร็จ แกะพิมพ์ยางออกจากบล็อคเหล็กแล้วทำการตัดแต่งให้เรียบร้อย รอจนพิมพ์ยางเย็น โดยใช้ก้อนทำความเย็นช่วยให้พิมพ์ยางเย็นเร็วขึ้น แล้วนำพิมพ์ยางไปทำการผ่า โดยจะใช้มีดกรีดยางด้านบนให้ยางขาดออก ความยาวกะให้พ้นพิมพ์ชิ้นงานต้นแบบ ระวังอย่าให้มีดโดนชิ้นงานต้นแบบ แล้วกรีดยางตามรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับนำไปฉีดเทียน นำพิมพ์ยางซิลิโคนที่ผ่าเสร็จเรียบร้อยตรวจสอบคุณภาพ แล้วทำการเขียนรหัสงานตามให้ถูกต้อง แล้วนำมาทดลองฉีดเทียน หากใช้ไม่ได้ก็นำไปตัดแต่งแก้ไขก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนต่อไป

2) Wax process (กระบวนการฉีดเทียน)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการสร้างตัวแบบชิ้นงานจากเทียน ซึ่งใช้เครื่องในการฉีดเทียน โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน จากนั้นตีแป้งใส่พิมพ์ยางก่อนนำเข้าเครื่องฉีดเทียนเพื่อให้เทียนที่ฉีดเข้าไปสามารถแกะออกได้ง่าย ไม่ติดที่พิมพ์ยาง จากนั้นนำพิมพ์ยางเข้าเครื่องแล้วทำการฉีดเทียน เมื่อฉีดเทียนเสร็จจะทำการพักก้อนพิมพ์ยางทิ้งไว้ตามเวลาที่กำหนดเพื่อให้เทียนคงรูปแล้วค่อยทำการแกะชิ้นงานเทียนออกจากพิมพ์ยาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) Treeing (กระบวนการติดต้น)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการนำชิ้นงานที่ได้คุณภาพจากกระบวนการฉีดและแต่งเทียน แต่ละชิ้น มาติดลงบนต้นเทียน

4) Casting (กระบวนการหล่อ)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการหล่อชิ้นงานโลหะ โดยขั้นแรกจะเป็นการผสมปูน โดยผสมระหว่างปูนกับน้ำ เพื่อใช้สำหรับทำเป็นแม่พิมพ์ปูนที่ใช้ในกระบวนการหล่อโลหะ จากนั้นทำการอบปูน คือขั้นตอนการนำเบ้าปูนเข้าสู่เตาอบเพื่อให้ความร้อนหลวมละลายชิ้นงานเทียนให้ออกจนหมด จากนั้นคีบเบ้าปูนใส่เครื่องหล่อโลหะแล้วทำการเทเม็ดโลหะลงในเครื่อง เมื่อโลหะถูกหลอมลงสู่เบ้าปูนที่ทำการหล่อเรียบร้อย จึงทำการคีบเบ้าออกจากเครื่องและทำการพักเบ้าหลังหล่อตามเวลาที่กำหนด

5) Cleaning (กระบวนการฉีดปูน)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนแยกต้นงานโลหะกับเบ้าปูนออกจากกัน เป็นขั้นตอนการทำความสะอาดต้นงานหลังหล่อ โดยการฉีดน้ำทำความสะอาดและนำไปจุ่มในสารละลาย Sodium bisulfite ตามระยะเวลาที่กำหนด จนต้นงานขาว

6) Trimming (กระบวนการตัดต้น)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนแยกต้นโลหะกับชิ้นงานออกจากกัน โดยตัดชิ้นงานตามรอยมาร์คที่ก้านทางน้ำ

7) Inspection (กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอน Inspection (กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ) ของชิ้นงานหลังหล่อ หากชิ้นงานผ่านคุณภาพจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอน Grinding (กระบวนการขัดหิน) หากชิ้นงานไม่ผ่านคุณภาพจะถูก Scrap (ตีเสีย) เนื่องจากชิ้นงานหลังหล่อจะไม่สามารถ Rework (ซ่อม) ได้ จึงไม่มีการส่งไป Rework (ซ่อม)

8) Scrap (ตีเสีย)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอน Scrap (ตีเสีย) ชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังหล่อ แล้วชิ้นงานไม่ผ่านคุณภาพ

9) Grinding (กระบวนการขัดหิน)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการเจียรก้านทางน้ำออก ขัดแต่งผิวให้เรียบ เป็นการปรับสภาพผิวชิ้นงานก่อนขัดเงา ต้องระวังการขัด หากขัดมากเกินไป จะทำให้ลวดลายบางหายได้

10) Polishing (กระบวนการขัดผ้า)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการขัดผิวของชิ้นงาน ให้เรียบเนียนและเงางาม ต้องระวังการขัด หากขัดมากเกินไปจะทำให้ลวดลายบางหายได้

11) Assembly (กระบวนการประกอบ)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการประกอบชิ้นงานแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน ด้วยวิธีการหยอดกาวระหว่างแผ่นสเตนเลส ที่มีการบีบกับเข้ากับสายหนัง กับฝาท้ายชิ้นงาน ซ

12) Enamel (กระบวนการหยอดสี)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการหยอดสีลงบนชิ้นงาน โดยใช้ตัวเร่งในการผสมสี ซึ่งพื้นที่หยอดสีจะต้องสะอาด มีขอบกันสี เพื่อไม่ให้สีไหลออกนอกพื้นที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

13) Tumbling/Cleaning (กระบวนการร่อน/ล้างทำความสะอาด)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการขัดผิวด้วยเครื่องร่อนเป็นการขัดที่ใช้วัสดุขัดถูที่มีความหยาบ เป็นการขัดเสียดสีชิ้นงาน เพื่อถูเอาผิวชั้นบนออก ทำให้ผิวมีความเรียบเนียน ผิวสม่ำเสมอมากขึ้น เกิดความเงางามและเป็นการทำความสะอาดชิ้นงาน สำหรับชิ้นงานที่มีซอกหรือลวดลาย เพราะสามารถเข้าไปขัดตามร่องชิ้นงานได้

ทำความสะอาดโดย Ultrasonic เป็นการทำความสะอาดโดยใช้เครื่องที่ทำให้เกิดคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงจนทำให้สารทำความสะอาดที่ใส่ไปเกิดเป็นฟองอากาศและแตกตัว โดยจะใช้เวลาทำความสะอาดตามที่มาตฐานบริษัทกำหนด

การกันหมองของชิ้นงาน โดยปกติชิ้นงานเงินจะหมองคล้ำได้ง่ายในบรรยากาศที่มี โอโซนหรือสารประกอบซัลเฟอร์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากเงินจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ ทำให้ผิวชิ้นงานเงินเปลี่ยนเป็นสีหมองคล้ำ จึงจำเป็นต้องมีการชุบกันหมอง โดยน้ำยาชุบกันหมองจะเคลือบผิวชิ้นงานเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ป้องกันไม่ให้ผิวชิ้นงานสัมผัสกับอากาศโดยตรง ทำให้ช่วยยืดระยะเวลาการหมองของชิ้นงานให้หมองช้าลง

14) Inspection (กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอน Inspection (กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ) ทำการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการจนเป็น Finished Goods (ชิ้นงานสำเร็จ) หากชิ้นงานผ่านคุณภาพจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอน Packing (บรรจุ) หากชิ้นงานไม่ผ่านคุณภาพจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอน Rework (ซ่อม)

15) Rework (ซ่อม)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการ Rework (ซ่อม) เป็นการซ่อมชิ้นงานที่ไม่ผ่านคุณภาพ ซึ่งจะมีการประเมินและซ่อมตามอาการที่พบ

16) Inspection (กระบวนการตรวจสอบคุณภาพ)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ ชิ้นงานที่ผ่านการ Rework (ซ่อม) หากชิ้นงานผ่านคุณภาพจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอน Packing (บรรจุ) หากชิ้นงานไม่ผ่านคุณภาพจะถูก Scrap (ตีเสีย)

17) Scrap (ตีเสีย)

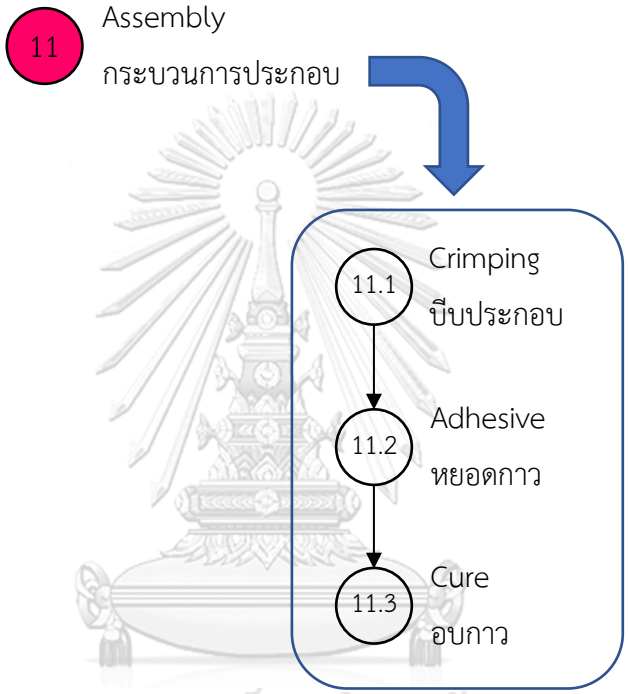
ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการ Scrap (ตีเสีย) ชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพของงานที่ถูก Rework (ซ่อม) แล้วชิ้นงานไม่ผ่านคุณภาพ

18) Packing (บรรจุ)

ขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนบรรจุสินค้าลงในถุงและทำการติดสติกเกอร์เพื่อระบุรหัสของสินค้าก่อรส่งไปขาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษากระบวนการผลิต พบว่าอาการเสียที่มีมากที่สุดคือ การประกอบหลุด โดยมีสัดส่วนของเสียมากถึง 85.18% คิดเป็นของเสียจำนวน 75,490 ชิ้น ซึ่งจะเกิดได้จากขั้นตอนกระบวนการประกอบ ดังนี้ จึงมีการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง ในส่วนของขั้นตอนกระบวนการประกอบ เพื่อวิเคราะห์กระบวนการย่อยและพารามิเตอร์ ของในกระบวนการย่อยที่ทำให้เกิดของเสีย โดยกระบวนการย่อยในการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนังในส่วนของกระบวนการประกอบ อธิบายได้ดังนี้



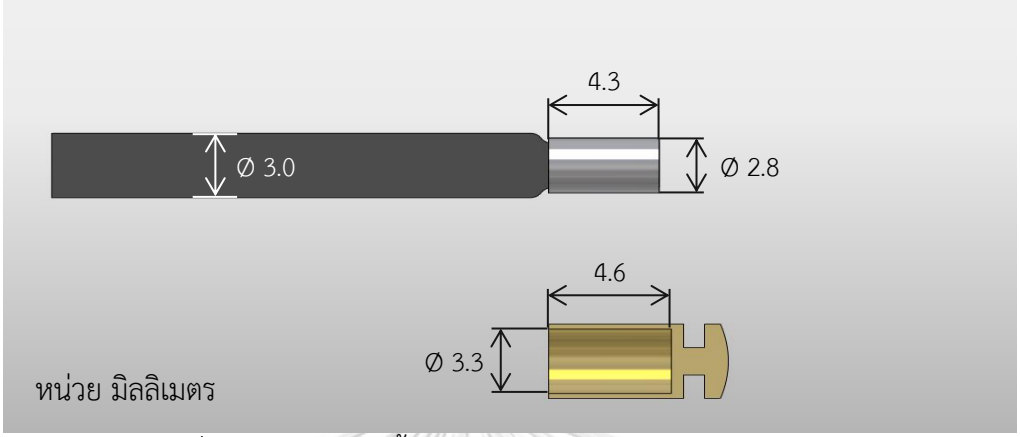
รูปที่ 1-12 ขั้นตอนกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

Chulalongkorn University

โดยกระบวนการประกอบของสร้อยข้อมือสายหนัง จะเป็นการประกอบระหว่างสายหนังที่บีบเข้ากับแผ่นสเตนเลส กับ ฝาท้ายชิ้นงาน แสดงดังรูป

รูปที่ 1-13 ส่วนประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

ซึ่งแต่ละส่วนมีขนาดดังนี้ สายหนังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 มิลลิเมตร แผ่นสเตนเลสที่บีบเข้ากับสายหนัง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 มิลลิเมตร ความกว้าง 4.4 มิลลิเมตร และส่วนฝาท้ายชิ้นงาน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 มิลลิเมตร ความกว้าง 4.6 มิลลิเมตร แสดงดังรูป



รูปที่ 1-14 ขนาดของชิ้นส่วนในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

กระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง มีขั้นตอนการผลิตย่อย 3 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

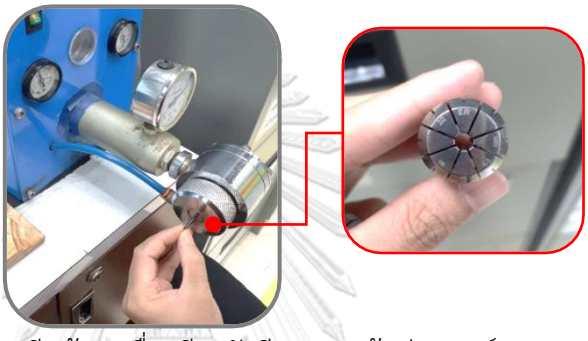
1) Crimping (บีบประกอบ)

ขั้นตอนย่อยนี้ เป็นขั้นตอนการประกอบอะไหล่ที่เป็นแผ่นสเตนเลส เข้ากับสายหนังโดยใช้คีมบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร ทำการบีบ 3 ครั้ง เพื่อให้แผ่นสเตนเลสล็อกเข้ากับสายหนัง แล้วทำการย้ำด้วยเครื่องตอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร โดยทำการตอก 3 ครั้ง จากนั้นนำเข้าเครื่องบีบ ใช้หัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.80 มิลลิเมตร

รูปที่ 1-15 การประกอบแผ่นสเตนเลสเข้ากับสายหนัง โดยใช้คีมบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1-16 การย้ำด้วยเครื่องตอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 1-17 การบีบด้วยเครื่องบีบ หัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.80 มิลลิเมตร

รูปที่ 1-18 ชิ้นงานหลังการผ่านการบีบด้วยเครื่องบีบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) Adhesive (หยอดกาว)

ขั้นตอนย่อยนี้ เป็นขั้นตอนการหยอดกาวในรูของฝาท้ายชิ้นงาน และประกอบเข้ากับชิ้นงานสายหนังที่ทำการบีบประกอบแผ่นสเตนเลสเรียบร้อย โดยมีอัตราส่วนของกาว Resin (สีขาว) ต่อ Hardener (สีฟ้า) ในอัตราส่วน 1 : 1 โดยมวล ซึ่งการผสมกาวห้ามผสมกาวทิ้งไว้เกิน 20 นาที/ต่อครั้ง และครั้งละไม่เกิน 10 กรัม ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำกาวใส่หลอดเข็ม หยอดกาวปริมาตร 8 มิลลิกรัม ใส่ฝาท้ายชิ้นงาน มีการควบคุมปริมาณการหยอดกาวโดยการตั้งค่าเครื่องหยอดกาวที่ความดัน (Pressure) 0.25 เมกะปาสคาล ซึ่งอัตราส่วนน้ำหนักกาวต่อเวลา คือ 4 มิลลิกรัม/1 วินาที

รูปที่ 1-19 การผสมกาวใส่หลอดเข็ม

รูปที่ 1-20 การหยอดกาวในรูฝาท้ายชิ้นงาน และประกอบเข้ากับชิ้นงานสายหนังที่ทำการบีบประกอบกับแผ่นสเตนเลส

3) Cure (อบกาว)

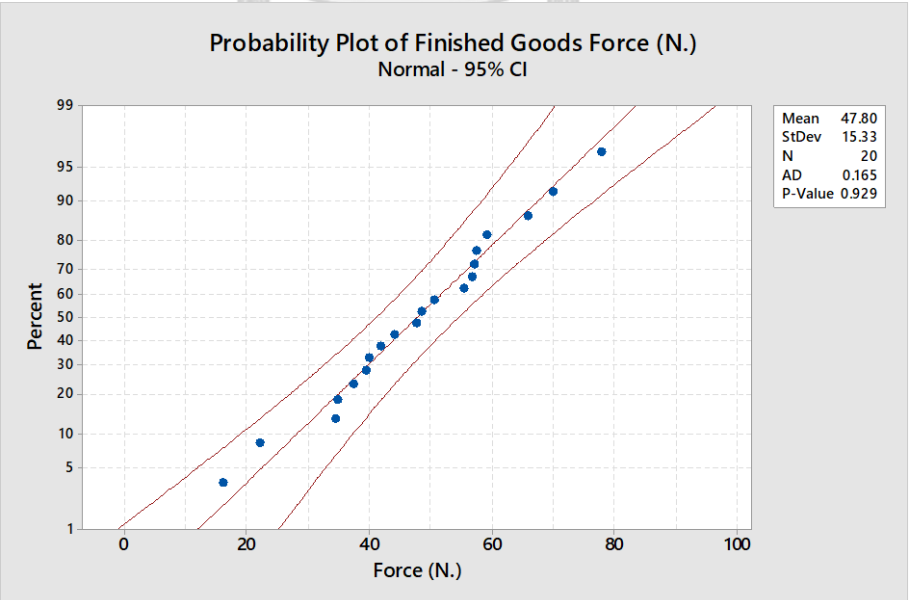
ขั้นตอนย่อยนี้ เป็นขั้นตอนการอบกาวเพื่อให้กาวแข็งตัว โดยนำชิ้นงานเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 55±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 1-21 การอบกาวด้วยเครื่องอบ

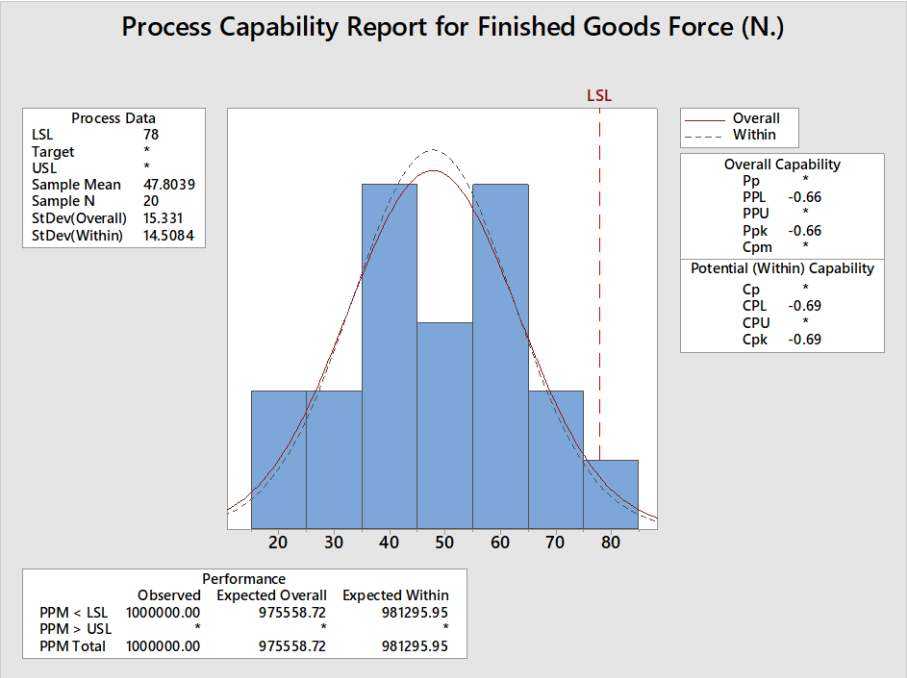
ทางทีมได้ทำการทวนสอบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่อยู่ในคลังสินค้า ในปัจจุบัน จำนวน 10 ชิ้น วัดค่าแรงดึงสองด้านต่อชิ้นงาน ได้จำนวน 20 ค่า โดยใช้เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) มาทำการวัดผลค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังในปัจจุบัน ซึ่งหลังการทดสอบผลการวัดค่าแรงดึงเป็น แนบข้อมูลใน ภาคผนวก ข ตารางที่ ข1 โดยหลังการทดสอบพบว่าลักษณะการประกอบหลุด จะเป็นการหลุดระหว่างแผ่นสเตนเลส ที่มีการบีบกับเข้ากับสายหนัง กับฝาท้ายชิ้นงาน ลักษณะการหลุดเช่นเดียวสินค้าที่ได้รับคืนจากลูกค้า ดังรูป

รูปที่ 1-22 ชิ้นงานสำเร็จหลังการทดสอบด้วยเครื่องวัดแรงดึง

เมื่อทำการวัดผลค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่อยู่ในคลังสินค้าในปัจจุบันแล้ว จึงนำมาวิเคราะห์ผลโดยการประเมินผลความสามารถของกระบวนการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ในการวิเคราะห์ค่าเป็นกราฟ โดยค่าแรงดึงเป้าหมายของโรงงานกรณีศึกษา คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน



รูปที่ 1-23 กราฟ Probability Plot ค่าแรงดึงของชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 1-24 กราฟ Process Capability ค่าแรงดึงของงานชิ้นงานสำเร็จ

พิจารณากราฟ Probability Plot พบว่าค่า P-Value มีค่า 0.929 ซึ่งมากกว่า 0.05 สรุปได้ว่ากระบวนการนี้ข้อมูลแจกแจงแบบปกติ สามารถประมาณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการได้

พิจารณากราฟ Process Capability พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงดึงของชิ้นงานสำเร็จ มีค่า 47.80 นิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่า ค่าแรงดึงเป้าหมายคือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15.33 และค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ -0.69 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 ที่เป็นเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมากไปทางด้านต่ำ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงโดยหาวิธีการที่จะทั้งปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงให้สูงกว่าเป้าหมายและลดระดับความผันแปรของกระบวนการลงด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเพื่อให้ค่าแรงดึงอยู่ในเป้าหมายที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดที่ มากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน ซึ่งการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังนั้น จะเป็นการยึดเกาะด้วยกาว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเน้นที่การปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย เพื่อให้ค่าแรงดึงอยู่ในมาตรฐานการผลิต และเพื่อลดข้อร้องเรียนจากลูกค้า เปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) อันเนื่องมาจากสาเหตุสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในแง่ของเวลาสูญเปล่า ค่าใช้จ่ายแรงงานและความพึงพอใจในสินค้าของของลูกค้า

1.3 วัตถุประสงค์

ปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังให้อยู่ในค่าเป้าหมาย โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1) ทำการศึกษากระบวนการทำงานโรงงานกรณีศึกษา เฉพาะในส่วนของขั้นตอนกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง
2) ปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยเงื่อนไขในการพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ พารามิเตอร์นั้นจะต้องให้ค่าแรงดึงเป้าหมายคือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน
3) ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย

1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา รวมถึงกำหนดวัตถุประสงค์และกำหนดขอบเขตการวิจัย
2) สำรวจงานวิจัยและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง
3) ทำการศึกษาและกำหนดปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อความผันแปรของกระบวนการ
4) ทำการวิเคราะห์การวิเคราะห์ข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) ของกระบวนการประกอบ เพื่อหาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง
5) ออกแบบและวางแผนการทดลองเพื่อหาข้อกำหนดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในค่าเป้าหมาย
6) ดำเนินการทดลอง ตามการออกแบบการทดลอง
7) วิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักสถิติวิศวกรรม
8) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
9) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์และนำเสนอผลงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง
2) สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง
3) เพิ่มค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง
4) ลดของเสียอาการประกอบหลุด
5) เพื่อลดเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) จากข้อร้องเรียนจากลูกค้า ในอาการประกอบหลุด
6) สร้างความพึงพอใจในสินค้าของของลูกค้า
7) ลดความสูญเสียในแง่ของเวลาสูญเปล่า ลดค่าใช้จ่ายแรงงานในการผลิตชิ้นงานมาทดแทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.7 แผนการดำเนินการวิจัย

ตั้งแต่เดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2563 ถึง เดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2564 ดังตารางที่ 1-5

ตารางที่ 1-5 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	พ.ศ. 2563									พ.ศ. 2564								
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหา																		
2. กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย																		
3. ศึกษาบทความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง																		
4. วิเคราะห์หาสาเหตุ																		
5. เลือกวิธีการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข																		
6. ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข																		
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง																		
8. นำผลที่วิเคราะห์ ไปปรับปรุงกระบวนการ																		
9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ																		
10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																		
11. นำเสนอผลงาน																		

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของของสร้อยข้อมือสายหนัง และหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าแรงดึงของของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยประยุกต์ใช้หลักการการออกแบบการทดลอง เพื่อปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังให้อยู่ในค่าเป้าหมาย ที่ มากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน และลดข้อร้องเรียนจากลูกค้า ในส่วนเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) อันเนื่องมาจากสาเหตุสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงาน

ดังนั้นจึงได้มีการสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อให้งานวิจัยสามารถสำเร็จได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งเนื้อหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้นำมาเรียบเรียง ดังต่อไปนี้

1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาว
3. เทคนิคการควบคุมคุณภาพ
4. เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA)
5. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment)
6. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

ในการผลิตเครื่องประดับสามารถแยกวิธีการผลิตเครื่องประดับได้ 2 แบบ คือ

1) การผลิตตัวเรือนด้วยมือ เหมาะสำหรับการผลิตเครื่องประดับที่มีราคาสูง มีการผลิตในปริมาณไม่มาก ประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่กระบวนการขึ้นรูป การแต่งตัวเรือน การฝังการชุบและการตรวจสอบ
2) การผลิตด้วยเครื่องมือหรือเครื่องจักร เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณที่มาก มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ เริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบ การทำแม่พิมพ์ยาง การฉีดเทียน การทำต้นเทียนชิ้นงาน การทำแบบพิมพ์ปูน การอบแม่พิมพ์ปูน การหล่อตัวเรือนโลหะ การตัดชิ้นงาน การตกแต่งตัวเรือน การขัดตัวเรือน การฝังตัวเรือน การชุบเคลือบผิว

ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ มีกระบวนการผลิตมากมายหลายขั้นตอนการผลิตแตกต่างกันไปตามรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีการผลิตหลักคล้ายคลึงกัน แสดงดังรูป

รูปที่ 2-1 ขั้นตอนของกระบวนการผลิตเครื่องประดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) การออกแบบ

เทคโนโลยีการออกแบบนั้น ปัจจุบันได้มีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบผลิตภัณฑ์อาทิเช่น Jewel CAD เป็นต้น ซึ่งทำให้การออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ง่ายขึ้น ตลาดส่วนกลุ่มเป้าหมายของประเทศไทยเป็นตลาดระดับกลางถึงล่าง ซึ่งไม่ค่อยเน้นการออกแบบที่สวยงามเป็นเอกลักษณ์ แต่จะสนใจเรื่องคุณภาพและความคุ้มราคาของผลิตภัณฑ์

2) การทำแบบแม่พิมพ์

เป็นขั้นตอนการขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วยมือเพื่อใช้ในการทำแบบพิมพ์ยาง วัตถุดิบที่ใช้ทำคือเงินแท่ง การทำแบบจะแยกทำเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆ แล้วจึงนำมาประกอบเป็นตัวเรือนของเครื่องประดับโดยวิธีการเชื่อมน้ำประสาน แบบแม่พิมพ์นี้เปรียบได้กับกระสวนของงานหล่อโลหะ ซึ่งทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแบบของการทำการหล่อ (Mold)

ในการทำแบบแม่พิมพ์มักจะมีการเผื่อขนาดสำหรับการหดตัวจากการหล่อให้ใหญ่กว่าขนาดชิ้นงานจริงไม่เกิน 10%

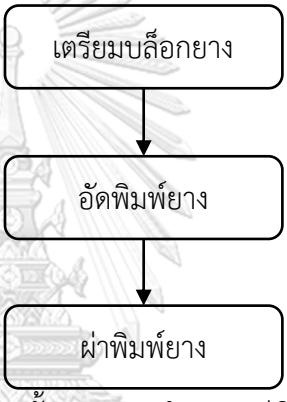
รูปที่ 2-2 ขั้นตอนการทำแบบแม่พิมพ์

3) การทำแบบพิมพ์ยาง

เป็นขั้นตอนในการทำแบบหล่อสำหรับการฉีดขี้ผึ้ง (Wax) ซึ่งจะนำไปใช้ในวิธีการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย (Lost wax casting) ต่อไป วัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์ยางคือ ยางแผ่นประเภท Thermal elastic (ยางยืด) และเรซินเหลว โดยแบบ Thermal elastic นั้นจะนำยางแผ่นมาตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแผ่นยางจะถูกนำมาประกอบกันโดยวางตันแบบไว้ตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

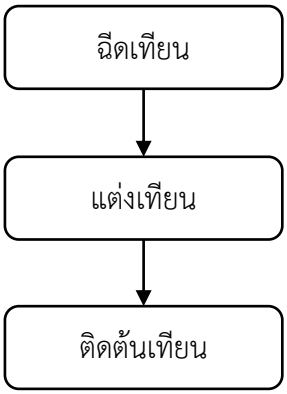
กลาง แล้วนำเข้าเครื่องอัดพิมพ์ยาง อัดบล็อกยางด้วยเตาอัดยางไฟฟ้า ตั้งอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอัดบล็อกพิมพ์ยางขึ้นกับขนาดของบล็อกพิมพ์ยาง เมื่อได้พิมพ์ยางแล้วจะทำการผ่าพิมพ์ยางเพื่อนำเอาตัวต้นแบบออกจากบล็อกยาง เนื่องจากการผ่าพิมพ์ยางนี้ใช้มีดผ่าตัดกรีดบล็อกยาง ต้องอาศัยฝีมือและความชำนาญ อีกทั้งต้องกรีดยางภายในบล็อกที่ประกอบไปด้วย ระบบจ่ายน้ำโลหะ ไส้แบบ รูวิ่งรูเข้า รูล้นด้านข้าง เช่นเดียวกับการทำแบบหล่อโลหะทั่วไป ในส่วนแบบเรซินเหลวนั้นใช้โดยการผสมกับน้ำยาที่ทำให้เรซินแข็งตัว แล้วหล่อลงไปหุ้มต้นแบบ โดยสามารถใช้ได้ทั้งต้นแบบโลหะและตันแบบที่ทำจากเทียน จากนั้นจะถูกนำไปดูดฟองอากาศออกแล้วปล่อยให้แข็งตัว แล้วจึงนำแม่พิมพ์เรซินไปผ่าเช่นเดียวกับแม่พิมพ์ยางแบบ Thermal elastic



รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการทำแบบแม่พิมพ์ยาง

4) การฉีดเทียนทำต้นแบบเทียน

แม่พิมพ์ยางที่ได้จะถูกนำมาฉีดเทียนเข้าไปในแม่พิมพ์ยาง เมื่อเทียนเย็นตัวลงจะได้ตัวแบบเทียนที่มีลวดลายต่าง ๆ เหมือนต้นแบบทุกประการ เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วเหมาะสำหรับการผลิตเป็นจำนวนมาก อุณหภูมิสำหรับฉีดเทียนอยู่ที่ 70-75 องศาเซลเซียส ซึ่งเทียนที่ดีต้องอ่อนนิ่ม ไม่แข็งกรอบ มีความยืดหยุ่นและแข็งแรง มีการหดตัวขณะเย็นเล็กน้อย จากนั้นการแต่งเทียน โดยใช้มีดตรงและมีดโค้งในการตัดแต่งครีบเทียนให้สมบูรณ์ก่อนนำไปติดต้นเทียน การติดต้นเทียนเป็นการนำตัวแบบเทียนมารวมกันให้เป็นกลุ่ม เพื่อสามารถหล่อชิ้นงานได้ครั้งละจำนวนมาก โดยการติดต้นแบบเทียนจะเป็นการเรียงกันเป็นชั้น ๆ จากด้านล่างสู่ด้านบน ซึ่งจำนวนแบบเทียนที่นำมาติดบนต้นเทียนจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องประดับ



รูปที่ 2-4 ขั้นตอนการฉีดเทียนทำตัวเรือน

5) การหล่อตัวเรือน

การหล่อตัวเรือนเป็นวิธีการขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ ขั้นตอนของการหล่อตัวเรือนเริ่มจากการหล่อเบ้าปูนพลาสตอร์ คือนำต้นเทียนสวมเข้ากับเบ้าแล้ววางลงในเครื่องผสมปูน เมื่อเทปูนลงในเบ้าแล้วต้องทิ้งให้ปูนแห้งก่อนนำเข้าเตาอบ

รูปที่ 2-5 ต้นงานเทียนหลังจากเทปูนลงในเบ้าโลหะ

จากนั้นทำการการอบเบ้าปูน ในขั้นตอนนี้จะใช้หลักการของการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย เป็นการทำเพื่อการกำจัดตัวแบบเทียน และส่วนของเทียนออกจากแม่พิมพ์ปูนหล่อ ทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงแบบขึ้นภายในมีพื้นที่สำหรับน้ำโลหะ ซึ่งจุดประสงค์ในการอบเบ้าปูนนั้น เพื่อกำจัดตัวแบบเทียนทำให้แม่พิมพ์ปูนหล่อเกิดเป็นโพรงภายในเพื่อเป็นทางเดินของน้ำโลหะในกระบวนการหล่อโลหะ สุดท้ายเทน้ำโลหะลงไปในโพรงแบบหล่อ แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงและแข็งตัว จะได้รูปร่างของชิ้นงานหล่อเหมือนกันรูปร่างของโพรงแบบ

6) การตกแต่งตัวเรือน

ขั้นตอนการตกแต่งตัวเรือนจะแตกต่างกันไปตามชนิดและประเภทของเครื่องประดับ ซึ่งการตกแต่งตัวเรือนจะทำให้มีการสูญเสียเนื้อวัสดุ แต่จะมีการควบคุมน้ำหนักของตัวเรือนให้อยู่ในเกณฑ์ของน้ำหนักที่ต้องการ

7) การฝังตัวเรือน

เป็นการฝังอัญมณี เข้ากับตัวเรือนของเครื่องประดับ เช่น พลอย เพชร เพื่อความสวยงาม โดยมีข้อควรระวังในการฝังคือ อัญมณีบิ่นหรือแตก

8) การขัดเงา

เป็นการตกแต่งตัวเรือนอย่างละเอียด เพิ่มความมันเงาและความสวยงามให้กับผิวของตัวเรือน ขั้นตอนการขัดเงาประกอบเริ่มจากป้ายก้อนยาดินที่ขอบนอกของลูกแปรง แล้วสวมลูกแปรงกับแกนมอเตอร์ เมื่อมอเตอร์หมุนจะใช้มือจับตัวเรือนขัดกับขอบนอกของลูกแปรง ถ้างานเป็นเหลี่ยมให้ใช้ลูกสักหลาด ไล่เหลี่ยม แล้วปัดลูกผ้ายาดิน จากนั้นทำการใช้ยาแดงเพื่อทำซอกงานให้เงา แล้วล้างน้ำด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเพื่อทำความสะอาดตัวเรือน

9) การร่อนเงา

เป็นส่วนหนึ่งของการตกแต่งตัวเรือน เพื่อทำความสะอาดผิวของตัวเรือนขั้นสุดท้ายก่อนที่จะ ทำการชุบเคลือบผิว หลังจากการขัดชิ้นงานจะถูกส่งไปทำความสะอาด ปัจจุบันผู้ผลิตนิยมใช้เครื่องอัลราโซนิคทำความสะอาดชิ้นงาน เป็นเครื่องที่ใช้คลื่นความถี่ของเสียงทำความสะอาดชิ้นงาน เพื่อชะล้างผง ฝุ่น คราบที่ติดมากับยาตินที่ใช้ในการขัดผ้า เป็นต้น ซึ่งอาศัยหลักการคล้ายกับการยิงทราย (Sand Shooting) ของงานหล่อโลหะทั่วไป เครื่องร่อนเงาแบ่งเป็น 2 แบบ แตกต่างกันที่ระบบการทำงานได้แก่ เครื่องร่อนเงาแบบหมุนเป็นวงกลม ใช้ลูกเหล็กในการร่อนเงา และเครื่องร่อนเงา แบบสั่นสะเทือน ใช้ลูกหินในการร่อนเงา

10) การชุบเคลือบผิว

เป็นการเคลือบสารจำพวกเงินหรือโรเดียมเพื่อเพิ่มความสวยงาม ความแข็งแรงคงทนให้กับ เครื่องประดับและเพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของผิวชิ้นงาน เพื่อป้องกันผิวขึ้นงานหมองคล้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

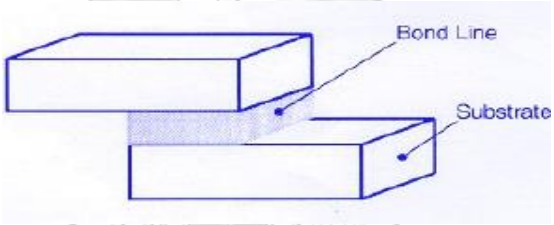
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกาว

กาว (adhesive) เป็นวัสดุที่ใช้สำหรับยึดติดวัตถุตั้งแต่สองชิ้นเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่เป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์ ในอดีตใช้กาวที่ได้จากธรรมชาติ เช่น เคซีนในน้ำนม น้ำยางจากต้นไม้ แป้ง หรือสารที่สกัดจากเกล็ดปลา ไข่ขาว หรือเขาสัตว์ แต่กาวที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ ทั้งที่เป็นชนิดเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แข็งมีการยึดติดที่ดีที่อุณหภูมิห้องอ่อนตัวได้เมื่อโดนความร้อน และชนิดเทอร์โมเซตติง (thermosetting) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์แข็งที่มีความคงทนต่อความร้อน และไม่ละลายในตัวทำละลาย อธิบายการยึดติดของกาว ได้ดังนี้

Bond Line คือ ช่องว่างระหว่างผิววัสดุซึ่งบรรจุด้วยกาว

Substrate คือ วัสดุที่นำมายึดติดด้วยกาว

Surface คือ ผิวหน้าของวัสดุที่ใช้ทากาว



รูปที่ 2-6 การยึดติดของกาว

(ที่มา : http://www.glugura.com, 2005)

2.2.1 การแบ่งประเภทของกาว

(กิจชัย จิตขจรวานิช, 2549) การแบ่งประเภทของกาวสามารถจำแนกได้หลายวิธี ได้แก่ การแบ่งประเภทตามการใช้งาน ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการแข็งตัวของกาว หรือการพิจารณาคุณสมบัติทางวิศวกรรม เคมี และความแข็งแรงทนทานในการใช้งาน

ทั้งนี้ การแบ่งประเภทตามคุณสมบัติทางเคมี เป็นการแบ่งประเภทของกาวที่นิยมใช้กันมากที่สุด และเป็นการแบ่งที่สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานการใช้งานต่าง ๆ ได้อีกมากมายด้วย

สำหรับบริษัทผู้ผลิตกาว การแบ่งประเภทของกาวมักจะใช้วิธีจำแนกตามประเภทการใช้งาน และตามผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต ซึ่งก็คือการพิจารณาความแข็งแรงในการยึดติดกำลังในการรับน้ำหนัก แล้วจึงแบ่งเป็นระดับไป นอกจากนั้นแล้วยังพิจารณาเพียงขอบเขตของผลิตภัณฑ์ที่บริษัทผู้ผลิตมีจำหน่ายเท่านั้น ในบางกรณีจึงเป็นการแบ่งตามภูมิภาคที่ใช้งานที่แตกต่างกัน หรือในบางกรณีบริษัทผู้ผลิตอาจจะพิจารณาแต่เพียงคุณสมบัติทางเคมีอย่างเดียว โดยผู้นำไปใช้งานจะพิจารณาตามความเหมาะสมของบริษัท หรือศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมเคมีในอัตราส่วนการผสมผสานกัน

(สิริธร แก้วกล่ำ, 2549) การแบ่งประเภทของกาว แบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลัก ๆ ตามหลักการทำงานของกาว ดังนี้

1. ประเภทของกาวที่มีสายโซ่ของโมเลกุลยาว แต่ะละลายหรือแขวนลอยอยู่ในตัวทำละลาย อย่างเช่น กาวน้ำ กาวลาเท็กซ์ หรือกาวยาง กาวประเภทนี้ต้องรอให้ตัวทำละลายแห้งออกไปหมดเสียก่อนจึงจะแข็ง และยึดติดสิ่งของบางอย่างได้ กาวประเภทนี้มีจุดเด่น คือ ราคาถูก ใช้งานง่าย แต่มีจุดอ่อนคือ ไม่แข็งแรงมากนัก ไม่ทนความร้อน หากไปโดนสารละลายที่เข้ากันได้ก็จะเยิ้มกลับมาไหลใหม่ได้ เช่น กาวทาพื้นรองเท้า กาวที่คิดหลังแสตมป์

2. ประเภทของกาวที่เริ่มจากโมเลกุลเล็ก ๆ ซึ่งอาจจะเป็นมอนอเมอร์ตัวเดียวหรือไม่กี่ตัวมาต่อกัน เรียกว่าพรีพอลิเมอร์ (prepolymer) กาวแบบนี้จะให้ปฏิกิริยาเคมีเพื่อทำให้ได้สายโซ่ยาว

แบบแรก ตัวอย่างที่รู้จักกันดี คือ ซูเปอร์กลู (แบบหลอดเดียว) ชื่อเคมี คือ ไซยาในอะคริเลท (cyanoacrylate) ตอนที่กาวอยู่ในหลอดจะเป็นของเหลวใสไหลไปมาได้ง่าย เพราะเป็นโมเลกุลเล็ก แต่เมื่อบีบออกมากาวจะแข็งตัวเนื่องจากโดนความชื้น โดยความชื้นนี้เอง ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำให้โมเลกุลเล็กมาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ทำให้ใช้ติดวัสดุได้หลายชนิด เพราะว่าที่ผิวของวัตถุมักจะมีความชื้นเสมอ กาวชนิดนี้มีข้อดี คือ แข็งตัวเร็ว และยึดติดได้แน่นมาก แต่ก็มีจุดอ่อน คือ ไม่ทนความร้อน และละลายได้ในสารละลายบางชนิด

ส่วนอีกแบบหนึ่ง คือ กาวอีพอกซี (Epoxy) จะมี 2 หลอด หลอดหนึ่งมีชื่อเรียกว่าเรซิน (Resin) ส่วนอีกหลอดหนึ่งเรียกว่าตัวทำให้แข็ง (Hardener) กาวอีพอกซีนี้ ถ้าใช้แค่หลอดเดียวจะไม่เหนียว ต้องใช้ 2 หลอดผสมกันอย่างเหมาะสม เพราะว่าสารเคมีในหลอดแรกที่เรียกว่าเรซินนั้นมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่สั้น เรียกว่าพรีพอลิเมอร์ (prepolymer) ซึ่งยังไม่เป็นกาวแข็ง แต่ถ้าเดิมตัวทำให้แข็งเข้าไป ตัวทำให้แข็งก็จะไปยึดสายโซ่สั้น ๆ เข้าด้วยกันทำให้ได้โมเลกุลใหญ่คล้ายร่างแห ส่งผลให้กาวอีพอกซีแข็งแรงมาก

3. ประเภทของกาวที่มาในรูปของเข็งเป็นแท่งพลาสติกยาว และต้องใช้ปืนที่ให้ความร้อนทำให้หลอม กาวพวกนี้เริ่มต้นเป็นสายโซ่ยาว ๆ คือเป็นพอลิเมอร์ แต่เนื่องจากไม่มีด้วยทำละลายจึงมีสภาพเป็นของแข็ง เวลาจะใช้ต้องให้ความร้อน ทำให้กาวหลอมเหลวแล้วปล่อยให้เย็นตัวแข็งใหม่อีกครั้ง ตัวอย่างในเชิงพานิชย์ เช่น กาวแท่งโพลิเอไมค์ (polyamide) และกาวแท่งโพลิเอทิลีนไวนิลอะซีเทต (polyethylene vinyl acetate) กาวพวกนี้มีจุดเด่น คือ ไม่ค่อยหดตัว แต่มีจุดอ่อน คือ ไม่ทนความร้อน

(Shields J. , 1974) การแบ่งประเภทของกาว ตามลักษณะทางกายภาพ สามารถจำแนกได้ 5 ลักษณะ ดังนี้

1. ของเหลว โดยส่วนมากสูตรของกาวจะอยู่ในสถานะที่เป็นของเหลว ทั้งในลักษณะที่เป็นน้ำยาตัวทำละลาย (Solvent) น้ำมันผสมกับน้ำ ให้กลมกลืนกันจนเป็นเมือกขาว (Emulsion) หรือ (Latices) หรือของเหลวข้นเหนียว (Viscous Liquid) ลักษณะทางกายภาพเช่นนี้ ทำให้ผู้ใช้สามารถทำงานได้ง่าย และควบคุมความข้นเหนียวของกาวบนพื้นที่ที่ต้องการทำงานได้ด้วยตนเอง

2. แป้งเหนียว ลักษณะทางกายภาพเช่นนี้ เหมาะสำหรับงานที่มีพื้นที่ผิวเป็นช่องว่างให้ใส่กาวเป็นตัวประสานได้ และต้องไม่ห้อยตัวตกลงมา เพื่อให้กาวที่มีลักษณะเป็นแป้งเหนียวแข็งตัวก่อนจะตกลงมาเป็นก้อน

3. แผ่นฟิล์มหรือผ้าเทป ลักษณะเช่นนี้เหมาะกับพื้นผิวงานที่เรียบ สม่ำเสมอ การทำงานของกาวประเภทนี้จะให้ความรวดเร็ว สะดวก และความเรียบเสมอกันของเส้นกาว รวมทั้งยังลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

4. ผง ลักษณะทางกายภาพของกาวที่เป็นผง จำเป็นต้องผสมกับของเหลวบางชนิด หรือต้องทำปฏิกิริยาทางเคมีด้วยความร้อนเสียก่อน จึงจะให้คุณสมบัติที่เป็นกาวได้ ซึ่งส่วนมากแล้วก็จะกลายสถานะจากผงเป็นของเหลว โดยทั่วไปแล้วกาวที่มีลักษณะเป็นผงจะสามารถเก็บไว้ได้นาน โดยปกติจะสามารถเก็บไว้ได้ประมาณ 1 ถึง 2 ปี หรือบางชนิดก็สามารถเก็บได้นานกว่านั้น

5. ของแข็ง ลักษณะทางกายภาพของกาวที่เป็นของแข็ง เช่น เป็นเมล็ดเล็ก ๆ เป็นแท่ง หรือเป็นลูกเต๋า ลักษณะทางกายภาพเช่นนี้เหมาะสำหรับการใช้งานบางประเภท กาวในลักษณะที่เป็นของแข็ง เป็นลักษณะพื้นฐานของการทำงานที่ต้องใช้ความร้อนเป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีเสียก่อน จึงจะให้คุณสมบัติการเป็นตัวประสานกาว ในลักษณะนี้สามารถเก็บไว้ได้นาน

2.2.2 อีพอกซีเรซิน

(นพรัตน์ ไทยวัฒนาพร, 2548) อีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin) เป็นกลุ่มของยางสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติอยู่ในช่วงของเหลวที่มีความหนืดต่ำ โดยความหนืดประมาณน้ำมันเครื่อง ปกติจะเป็นของเหลว เมื่อจะทำให้มีแรงยึดเกาะและแข็งขึ้นจะต้องเติมน้ำยาแข็ง (Hardener) เพื่อทำให้ของเหลวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งน้ำยาแข็ง (Hardener) นี้จะไปทำปฏิกิริยากับอีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin) ถ้าทำกันอย่างสมบูรณ์จะทำให้สารอีพอกซีแข็งตัวอย่างสม่ำเสมอ ถ้าการผสมไม่สมบูรณ์จะทำให้เกิดจุดที่อ่อนแอในโมเลกุล ดังนั้นการผสมที่ถูกต้องจึงมีผลต่อคุณภาพของอีพอกซี

ตามสูตรอัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่างน้ำยาแข็ง (Hardener) กับอีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin) ใช้ตามอัตราส่วนที่ทางผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด ให้ผสมกันทีละน้อยจนเข้ากันโดยใช้เครื่องหมุนใบพายด้วยความเร็วช้า ๆ หลังจากการผสมสารเข้าด้วยกันจะสามารถใช้ได้ตั้งแต่ปฏิกิริยาความร้อนยังไม่กระจายตัว จนถึงความร้อนถูกเร่งให้มีปฏิกิริยา โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญของอีพอกซีเรซิน ได้แก่

1. ความแข็งแรงในการยึดเกาะวัสดุเกือบทุกอย่าง
2. มีการทดตัว (Shrinkage) ที่ต่ำมากในขณะก่อตัว
3. ขนาดคงที่หลังจากบ่มแล้ว
4. มีสมบัติ "Gap filling" ตามธรรมชาติ
5. เป็นเทอร์โมเซตติง (Thermosetting)
6. ความสามารถในการด้านสารเคมี
7. เป็นฉนวน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเตรียมอีพอกซีเรซิน (Epoxy Resin) สำหรับการใช้งาน จะต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของโรงงานผู้ผลิต วัสดุต่าง ๆ จะต้องอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะทำการผสม นอกจากนี้เครื่องผสม หากได้รับความชื้นและความเย็นในที่เก็บ เมื่อนำมาใช้งานจะผสมได้ไม่ดี เนื่องจากจะเกิดความหนืดมากขึ้น และระยะเวลาการแข็งตัวจะนานกว่าปกติ ถ้างานที่ทำอยู่ในที่ร่มจะต้องมีการระบายอากาศที่ดีพอ

การผสมให้สัดส่วนเข้ากันได้ดี โดยตลอดเป็นสิ่งสำคัญมาก ไม่ควรทำการผสมจนเกินปริมาณที่จะใช้ได้หมด ก่อนที่ส่วนผสมอีพอกซีจะเริ่มจับตัว ซึ่งเวลาดังกล่าวจะกำหนดโดยโรงงานที่ผลิต (ปกติ Pot life ของอีพอกซีจะมีค่าประมาณ 30 นาที) กรณีที่ส่วนผสมของอีพอกซีในการปิดทับหน้าหรือเป็นตัวยึดเหนี่ยวกับวัสดุอื่น ไม่ควรทำการผสมมาก จะทำให้ปฏิกิริยาคายความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการแข็งตัวเร็วกว่าปกติ กรณีที่

การผสมองค์ประกอบอีพอกซีระหว่างเรซิน (Resin) และน้ำยาแข็ง (Hardener) มีสีตัดกัน ช่วยให้การกำหนดเวลาการผสม โดยผสมจนกว่าได้สีที่กลมกลืนเป็นสีเดียวกันตลอด ถ้าหากส่วนผสมมีสีที่ ไม่ตัดกันมากการผสมจะสังเกตได้ยาก

การแข็งตัวของสารประกอบอีพอกซีเรซิน ทันทีที่ส่วนผสมของเรซินและน้ำยาเข็ง (Hardener) ผสมเข้าด้วยกันปฏิกิริยาการแข็งตัวจะเริ่มขึ้น และในระหว่างการแข็งตัวความร้อนจะเกิดขึ้นด้วย และเกิดขึ้นในถังผสมมากกว่าในการฉีด เพื่อกันไม่ให้เกิดการแข็งตัวในถังผสมก่อนที่จะต้องการใช้งานควรจะมีวิธีการผสมและการใช้งานที่ประสานกันอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าส่วนผสมนั้นจำกัดอยู่ในภาชนะที่บรรจุความร้อนไม่สามารถกระจายออกได้ และเมื่อความร้อนเพิ่มจะเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น

การเปลี่ยนแปลงอัตราการแข็งตัว ทันทีที่ราดส่วนผสมของอีพอกซีแล้ว ส่วนผสมของอีพอกซีจะได้รับความร้อนจากพื้นผิวนั้น ด้วยเหตุนี้อุณหภูมิของผิวจะต้องได้รับการตรวจสอบก่อน ถ้าหากอุณหภูมิน้อยกว่า 21 องศาเซลเซียส การแข็งตัวจะเกิดขึ้นช้า ดังนั้นหากต้องการใช้แข็งตัวเร็ว พื้นผิวจะต้องมีความร้อนพอเหมาะ

วิธีการเร่งอัตราการแข็งตัว สามารถทำได้โดย

1. ใช้สารเร่งการแข็งตัว (ถ้ามี)
2. ใช้เครื่องมือทำความร้อนแบบอินฟาเรต (Infrared)
3. ใช้เต็นท์ผ้าใบและเครื่องทำความร้อน
4. ใช้เปลวไฟผ่านความร้อนด้วยผิวโลหะ (การใช้วิธีนี้ควรระวังเรื่องสถานที่และวิธีการ)
5. การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือเครื่องทำความร้อนอื่น เพื่อช่วยในการแข็งตัวของสารประกอบอีพอกซีเรซิน

วิธีการลดอัตราการแข็งตัว สามารถทำได้โดย

1. การลดอุณหภูมิของระบบการผสม
2. กระจายส่วนผสมออกเป็นแผ่นบาง ๆ

หมายเหตุ : หากอัตราการแข็งตัวช้ากว่าที่คิดไว้ และความร้อนในการผสมเพิ่มขึ้น จะรักษาอุณหภูมิของระบบการผสมได้โดยวิธีตามข้อ 2 อย่างไรก็ตาม จะใช้ไม่ได้ผลเมื่ออีพอกซีเรซินเริ่มแข็งตัวแล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 เทคนิคการควบคุมคุณภาพ

การควบคุม (control) หมายถึง การบังคับให้กิจกรรมต่าง ๆ สามารถดำเนินการได้ตามกระบวนการที่วางไว้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการผลิตที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงสุด

คุณภาพ (quality) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตให้มีความเหมาะสมกับการใช้งาน (fineness for use) มีการออกแบบที่ดี (quality of design) และมีการผลิตที่ได้มาตรฐาน โดยลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต้องมีความมั่นคงคงทน มีรูปร่างสวยงาม สามารถใช้ได้ดี และไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน

(นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์, 2562) QC (Quality Control) หมายถึง การควบคุมคุณภาพสินค้าให้เป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ และสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าสูงสุด ด้วยกระบวนการ Inspection คือกระบวนการการตรวจสอบตำหนิและจุดบกพร่องของผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะทำการส่งกลับไปแก้ไขหรือคัดทิ้ง จากนั้นจึงทำการบันทึกและเก็บสถิติของลักษณะรวมทั้งจำนวนผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่เกิดการบกพร่อง สำหรับนำไปวิเคราะห์สาเหตุปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น แล้วจึงทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถทำการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณสมบัติที่ตั้งไว้มากที่สุดต่อไป

จะเห็นได้ว่าทั้งกระบวนการ การตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพ (QC) และการประกันคุณภาพ (QA) นั้นต่างเป็นกระบวนการตรวจสอบเพื่อทำการป้องกัน (Prevention) การเกิดความผิดพลาดที่สามารถส่งผลต่อคุณภาพของสินค้าและบริการในทุกด้าน โดยที่ QC จะให้ความสนใจในกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ส่วน QA จะสนใจวงจรคุณภาพ (Quality Loop) เป็นหลัก

(สมบัติ สุขนิจ, 2548) เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การจัดการคุณภาพ (7 Quality Tools) ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. แผ่นรายการตรวจสอบ (Check sheet)
   แบบฟอร์มที่ใช้เก็บข้อมูลดิบเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เบื้องต้นและอาจใช้เป็นเครื่องเตือนพนักงานระดับปฏิบัติการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการข้ามขั้นตอนในการปฏิบัติงาน เน้นที่ความสะดวกในการบันทึกหลีกเลี่ยงการเขียนให้มากที่สุดโดยใช้สัญลักษณ์ต่าง ๆ ในการบันทึกแทน
2. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)
   กราฟที่ใช้แสดงความสำคัญหรือความวิกฤตของบกพร่องในการทำงานโดยการแยกแยะชนิดของความผิดพลาดและบันทึกความถี่ของความผิดพลาดแต่ละชนิดสามารถใช้ในการจัดลำดับก่อนหลังของการกับปัญหาได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามการ

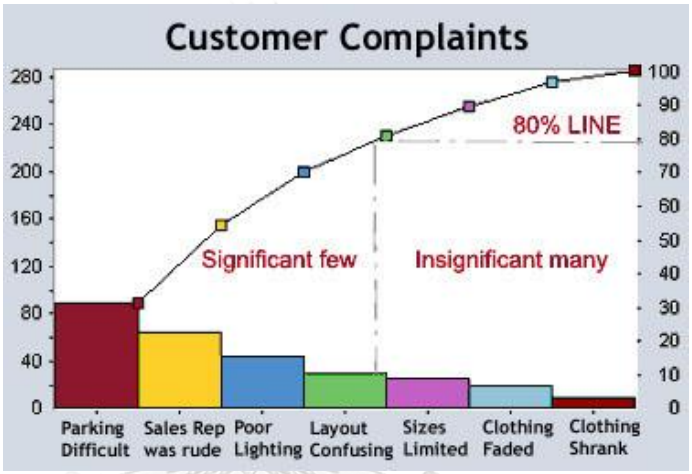
จัดทำผังพาเรโต (Pareto Diagram) มีขั้นตอนที่สำคัญที่สุดที่การแยกแยะประเภทของความผิดพลาด ถ้าแยกแยะไม่เหมาะสมก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์

3. แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)
   ใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสองปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร ในกรณีที่ไม่แน่ใจว่าปัจจัยที่ 1 มีผลทำให้เกิดความบกพร่องในปัจจัยที่สองหรือไม่ เช่น อายุของคนงานมีผลกระทบต่อปริมาณการเกิดของเสียในการผลิต ต้องมีการเก็บข้อมูลทางสถิติเพื่อนำมาสร้างผังการกระจาย และ วิเคราะห์ความเป็นไปได้ต่อไป
4. ผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram)
   เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิชิกาวา ไดอะแกรม (Ishikawa Diagram) คือ ผังที่ใช้วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของข้อผิดพลาด โดยใช้การระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานนั้นวิเคราะห์ลึกลงไปเรื่อย ๆ จนพบสาเหตุที่แท้จริง ซึ่งอาจพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหามากกว่าหนึ่งสาเหตุก็ได้ อย่างไรก็ตามผังก้างปลาช่วยให้ผู้เกี่ยวข้องแก้ปัญหาได้ถูกจุดไม่สับสนในการแก้ปัญหา
5. กราฟ (Graph)
   คือ การใช้ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งสองสิ่งขึ้นไป เช่น ระหว่างของเสียกับเวลาที่ใช้ในการผลิต เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงกับจำนวนพนักงานซ่อมบำรุง ฯลฯ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ 3 ประเภท คือ กราฟแท่ง (Bar Chart) กราฟเส้น (Line Chart) และ กราฟวงกลม (Pie Chart)
6. แผนภาพฮีสโตแกรม (Histogram)
   เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลความแปรปรวนของกระบวนการ เพื่อสังเกตแนวโน้มของกระบวนการและปรับกระบวนการเพื่อให้เข้าสู่มาตรฐาน เป็นการเก็บข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการรักษาและควบคุมคุณภาพ
7. แผนภูมิควบคุม (Statistical Process Control Chart)
   เครื่องมือที่ใช้ควบคุมคุณภาพในการทำงานโดยใช้พิจารณาแนวโน้มของการผลิตว่ากำลังไปในทิศทางใด อาจเกิดปัญหาขึ้นในอนาคตอันใกล้หรือไม่ และควรเข้าหาสาเหตุและปรับปรุงแก้ไขเมื่อใด

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์การจัดการควบคุมคุณภาพ 3 ข้อ คือ แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram), ผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) และแผนภูมิควบคุม (Statistical Process Control Chart) มาใช้ในการศึกษาดังนี้

2.3.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

ใช้สำหรับตรวจสอบปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นว่าปัญหาใดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดและรองลงไป ตามลำดับ โดยนำปัญหาหรือสาเหตุเหล่านั้น มาจัดหมวดหมู่หรือแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปหาน้อย เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้แสดงรายละเอียดของสิ่งที่เราสนใจในรูปแบบของกราฟ ผสมระหว่างกราฟแท่งกับกราฟเส้น โดยเรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อตามลำดับความถี่มากไปหาถี่ที่น้อยกว่า ตามหลักของกฎ 80:20 หรือ กฎของเพลโต ที่ว่าสาเหตุหลัก 20% ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ 80% ซึ่งหัวข้อเหล่านี้จะนำไปสู่การแก้ไขปัญหา หรือวางแผนการดำเนินงานต่อไป



รูปที่ 2-7 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

(ที่มา : http://whatis.techtarget.com/definition/Pareto-chart-Pareto-distribution-diagram)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประโยชน์ที่ได้รับของแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

1. ทำให้ทราบถึงหัวข้อที่มีความถี่สูงสุด เช่น ปัญหาที่มีความสูญเสียมากที่สุด ชนิดของปัญหาที่มีความถี่มากที่สุด บ่งชี้ให้เห็นได้ว่าหัวข้อใดมีปัญหามากที่สุด
2. ทำให้ทราบอัตราส่วนของปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับปัญหาอื่น ๆ สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเพียงใดในส่วนทั้งหมด
3. ทำให้ทราบลำดับและความสำคัญของปัญหา เข้าใจลำดับความสำคัญมากน้อยของปัญหาได้ทันที
4. เนื่องจากใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหาทำให้สามารถโน้มน้าวจิตใจได้ดี เข้าใจได้ง่าย
5. ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยากก็สามารถจัดทำได้

2.3.2 ผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram)

(ชวัล เลิศกำธรชัย, 2561) ผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) คือ แผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะอย่างใด อย่างหนึ่ง (ผล) กับองค์ประกอบหรือสาเหตุต่าง ๆ (เหตุ) ที่มีผลทำให้เกิดคุณลักษณะนั้น ๆ ไว้อย่างเป็นระบบ โดยรวบรวมในแผนภาพที่มีลักษณะคล้ายก้างปลาจึงเรียกชื่อกันว่า “ผังก้างปลา” และเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ผู้ที่คิดค้นขึ้นมาคือ ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาวา แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว บางครั้งจึงเรียกแผนภาพ อิชิกาวา (Ishikawa Diagram)

ซึ่งสาเหตุของปัญหา จะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรอง และก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่าง ๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก

M – Man หมายถึง คนงาน พนักงานหรือบุคลากรทั้งจากภายในและภายนอก

M – Machine หมายถึง เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

M – Material หมายถึง ผลิตภัณฑ์ บริการ วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่น

M – Method หมายถึง กระบวนการทำงาน

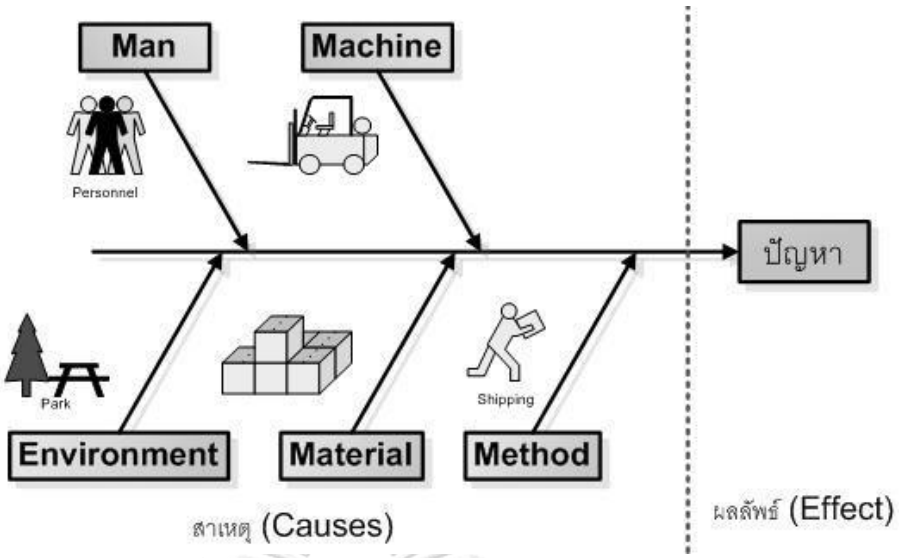
E – Environment หมายถึง อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

การรวบรวมองค์ประกอบหรือสาเหตุต่าง ๆ ให้เป็นระบบในรูปของงานแผนภาพสาเหตุและผลช่วยให้เราสามารถค้นหา วิเคราะห์ปัญหาได้ง่ายขึ้น ว่าองค์ประกอบใดหรือสาเหตุใดที่มีอิทธิพลต่อ คุณภาพของผลผลิตหรือผลงาน จะได้ควบคุมปรับปรุงสาเหตุหรือองค์ประกอบนั้น ๆ ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผังก้างปลาประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ส่วนหัวปลาแสดงปัญหาที่เกิดขึ้น
2. ก้างใหญ่เขียนสาเหตุหลักของปัญหา หรือปัจจัยที่เป็นปัญหา ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา
3. ก้างเล็กจะเป็นก้างย่อย เขียนสาเหตุที่ทำให้ปัจจัยนั้น ๆ เกิดปัญหาขึ้น



รูปที่ 2-8 ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา

(Cause and effect diagram)

(ที่มา : http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbonemm.htm)

หลักการดังกล่าวสามารถนำมาเขียนผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) ได้ดังนี้

1. ปัญหาหรือผล (หัวปลา) จะต้องเป็นปัญหาที่ชัดเจนและจำเพาะเจาะจง
2. สาเหตุใหญ่ (ก้างปลา) แต่ละสาเหตุจะต้องไม่ขึ้นแก่กัน คือแยกจากกันอย่างชัดเจน เช่น สาเหตุมาจากคน อุปกรณ์ที่ใช้ หรือจากวิธีการ
3. พยายามหาสาเหตุย่อย (ก้างย่อย) ให้มาก ๆ เพราะจะทำให้ได้สาเหตุมากมายทั้งที่แก้ไขได้และแก้ไขไม่ได้ เลือกสาเหตุที่สามารถแก้ไขได้เป็นรูปธรรมมาปรับปรุง ส่วนที่แก้ไขไม่ได้นำไปเป็นข้อเสนอแนะต่อผู้บริหาร
4. สาเหตุย่อย หาได้โดยใช้คำถาม “ทำไม”
5. ต้องระวังเรื่อง “เหตุ” และ “ผล” โดยต้องพิจารณาให้แน่ว่า อะไรเป็นเหตุอะไรเป็นผล เช่น ถนนลื่นเป็นสาเหตุของอุบัติเหตุ ไม่ใช่ฝนตก (เพราะฝนตกถนนอาจไม่ลื่นก็ได้)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยขั้นตอนการสร้างผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) สามารถสรุปเป็นแผนผังได้ดังนี้

รูปที่ 2-9 ขั้นตอนการสร้างผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา

ประโยชน์ของผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram)

นอกเหนือจากใช้วิเคราะห์สาเหตุหรือองค์ประกอบของปัญหาเพื่อนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงแล้ว แผนภาพสาเหตุและผลยังมีประโยชน์ทางด้านอื่น ๆ อีก เช่น

1. จากการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นโดยสมาชิกทุกคนในกลุ่มแต่ละคนจะถูกเปิดเผยออกมาทำให้เพื่อนร่วมงานทราบ นับเป็นการแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ต่อกันอย่างดี
2. ภาพสาเหตุทำให้การประชุมเป็นไปได้ถูกทิศทางและมีประสิทธิภาพและเป็นตัวนำทาง สำหรับการปรึกษาหารือ (ของการประชุม) แต่ถ้าประชุมโดยมีแนวทางตามแผนภาพสาเหตุและผล กำหนดการหารือจะอยู่ในแนวทางเดียวกัน
3. ภาพสาเหตุและผลใช้ได้กับงานทุกชนิด ไม่เพียงใช้ได้เฉพาะในการผลิตเท่านั้น แต่ใช้ได้กับงานทุกประเภท
4. ใช้ในการอธิบายเรื่องงานและใช้อบรมพนักงานใหม่ด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.3 แผนภูมิควบคุม (Statistical Process Control Chart)

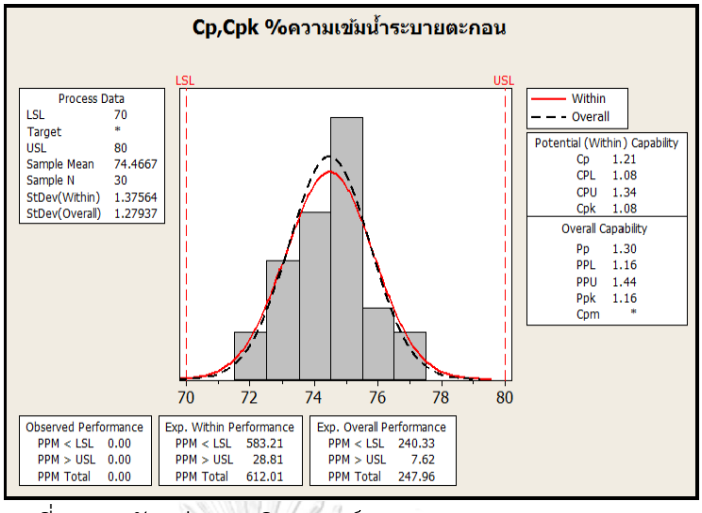
เมื่อได้ข้อมูลมาแล้วด้วยการเก็บขนาดตัวอย่างที่เชื่อถือได้ ก็จะนำข้อมูลนั้นมาคำนวณค่าสถิติหรือตัวชี้วัดเพื่อแสดงถึงระดับความสามารถของกระบวนการหรือระดับคุณภาพของงาน ซึ่งตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการนั้นมีหลายตัว โดยสามารถแบ่งแยกเป็นตัวชี้วัดที่เหมาะสมกับข้อมูลแบบต่อเนื่องและข้อมูลแบบหน่วยนับ โดยงานวิจัยนี้ใช้ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง ซึ่งนิยมใช้ 4 ดัชนี ได้แก่

ตารางที่ 2-1 การคำนวณดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบต่อเนื่อง

ดัชนี	คำนวณ	ดัชนีชี้วัด
C_p	$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{within}}$	ศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น
C_{pk}	$Min\ (C_{pk,(USL)}, C_{pk,(LSL)})$	ความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น
P_p	$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{overall}}$	ศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว
P_{pk}	$Min\ (P_{pk,(USL)}, P_{pk,(LSL)})$	ความสามารถของกระบวนการในระยะยาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สูตรในการคำนวณค่า C_p และ P_p จะเห็นได้ว่าสูตรของ C_p และ P_p นั้นเหมือนกัน แต่แตกต่างกันตรงวิธีในการคำนวณ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ ($\hat{\sigma}$) โดยในการคำนวณ C_p จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากความผันแปรภายในกลุ่มตัวอย่าง ($\hat{\sigma}_{within}$) ในขณะที่การคำนวณ P_p จะใช้ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่คำนวณจากความผันแปรทั้งหมด ($\hat{\sigma}_{overall}$) โดยหากกระบวนการในสภาวะควบคุมได้ค่าความผันแปรในระยะยาวจะมีค่าใกล้เคียงกับความผันแปรในระยะสั้น ซึ่งจะส่งผลให้ดัชนีชี้วัด C_p และ P_p มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2-10 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (ที่มา : http://www.journal.sci.kmutnb.ac.th/OnlineFirst/OnlineFirst20181108023233.pdf)

ตารางที่ 2-2 การประเมินอัตราศักยภาพของกระบวนการในระยะสั้น (C_p)

ค่าดัชนี C_p	ความสามารถของกระบวนการ
$2.00 < C_p$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq C_p < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq C_p < 1.67$	ดี
$1.00 \leq C_p < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq C_p < 1.00$	ไม่ดี
$C_p < 0.67$	ไม่ดีมาก

ตารางที่ 2-3 การประเมินอัตราความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (C_{pk})

ค่าดัชนี C_{pk}	ความสามารถของกระบวนการ
$2.00 < C_{pk}$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq C_{pk} < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq C_{pk} < 1.67$	ดี
$1.00 \leq C_{pk} < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq C_{pk} < 1.00$	ไม่ดี
$C_{pk} < 0.67$	ไม่ดีมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินผลความสามารถของกระบวนการ โดยมีขั้นตอนในการพิจารณาดังนี้

ก) สรุปว่าจะยอมรับระดับความสามารถของกระบวนการที่พิจารณาหรือไม่ โดยจะยอมรับเมื่อค่า C_{pk} มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด ซึ่งมักนิยมใช้ค่าเท่ากับ 1.33 หากยอมรับความสามารถของกระบวนการนั้น ก็ไม่มีความจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการใน พารามิเตอร์นั้น

ข) หากค่า C_{pk} มีค่าน้อยกว่า 1.33 ซึ่งเป็นเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด ไม่ยอมรับความสามารถของกระบวนการ ก็มีความจำเป็นต้องปรับปรุงกระบวนการ ในพารามิเตอร์นั้น โดยมีหลักในการกำหนดแนวทางในการปรับปรุง ดังนี้

1) หาก C_p มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แต่ C_{pk} มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ การยอมรับที่กำหนดแสดงถึงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่กระบวนการยังมีความสามารถในระดับที่ยอมรับไม่ได้ เนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่มากเกินไป จึงควรหาวิธีการในการปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้เข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

2) หาก C_p และ C_{pk} มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด โดย C_p และ C_{pk} มีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงถึงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ใกล้เคียงค่าเป้าหมายแล้ว แต่ระดับความผันแปรของกระบวนการยังมีค่ามากเกินระดับที่ยอมรับได้ จึงควรปรับปรุงโดยหาวิธีการในการลดระดับความผันแปรลง โดยไม่มีความจำเป็นต้องปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากขึ้น

3) หาก C_p และ C_{pk} มีค่าน้อยกว่าที่กำหนด โดย C_{pk} มีค่าน้อยกว่า C_p มาก แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายไปมากและระดับความผันแปรของกระบวนการยังมีค่ามากเกินระดับที่ยอมรับได้ด้วย จึงควรปรับปรุงโดยหาวิธีการที่จะทั้งปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากขึ้นและลดระดับความผันแปรลงด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2-4 สรุปการประเมินอัตราศักยภาพและอัตราความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น (C_p และ C_{pk})

Case	กราฟ	C_p กับ C_{pk}	ทำการปรับปรุงอย่างไร
1	ฮีสโตแกรม (Histogram) ไม่อยู่ตรงกลาง แต่ว่าช่วงกว้างของกราฟ (การกระจาย) ยังอยู่ในขอบเขตที่กำหนด	C_p ถือว่า “ดี” แต่ C_{pk} คือ “ไม่ดี”	ทำการปรับปรุงค่ากลางของกระบวนการให้อยู่ตรงกลาง
2	ฮีสโตแกรม (Histogram) อยู่ตรงกลาง แต่ว่าช่วงกว้างของกราฟ (การกระจาย) กว้างกว่าขอบเขตที่กำหนด	C_p และ C_{pk} คือ “ไม่ดี” และมีค่าใกล้เคียงกัน	ทำการลดความผันแปรของกระบวนการ
3	ฮีสโตแกรม (Histogram) ไม่อยู่ตรงกลาง และช่วงกว้างของกราฟ (การกระจาย) กว้างกว่าขอบเขตที่กำหนด	C_p และ C_{pk} คือ “ไม่ดี” และมีค่าแตกต่างกัน	ทำการปรับปรุงค่ากลางของกระบวนการให้อยู่ตรงกลาง และลดความผันแปรของกระบวนการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4 เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA)

(รณชัย ไม้สนธิ์, 2553) เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เป็นการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพระบบการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตหรือการบริการ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกัน (Preventive approach) สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการเกิดข้อบกพร่องและทำการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ในการการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาสาเหตุและผลกระทบจากข้อบกพร่องนั้น ๆ หลังจากนั้นก็จะทำการกำหนดวิธีการตรวจสอบและบ่งชี้ข้อบกพร่อง วิธีการที่เป็นระบบ (systematic approach) ในการในการตรวจหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและป้องกันข้อบกพร่องดังกล่าวมิให้เกิดขึ้น ทำให้วิศวกรสามารถคาดการณ์ปัญหาและมีระบบในการจัดอันดับหรือจัดความสำคัญก่อน-หลัง ดังนั้นจึงสามารถดำเนินการกับข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดได้

ในการดำเนินการ FMEA ให้เกิดประสิทธิผลที่สุดจะต้องดำเนินการภายใต้ระยะเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุดเท่าที่สามารถจะกระทำได้ โดยมีขั้นตอนทั่วไปในการจัดทำ FMEA ดังนี้

1. การกำหนดกลยุทธ์ในการจัดทำ FMEA วิเคราะห์โดยพิจารณาจากประเด็นต่าง ๆ ดังนี้ เช่น มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีใหม่, ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอยู่ได้รับการการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมค่อนข้างมาก, มีปัญหาของกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง, มีการควบคุมการทำงานของพนักงานปฏิบัติค่อนข้างมาก หรือ มีความผันแปรค่อนข้างสูง เป็นต้น
2. การทบทวนกระบวนการ
   การทำ FMEA ควรเริ่มต้นจากการแผนภาพแสดงการไหลของกระบวนการ จะทำให้สามารถทราบถึงทุกขั้นตอนในกระบวนการผลิต
3. การระดมสมอง
   การระดมสมองสมาชิกในคณะทำงานต้องเข้าใจกระบวนการทำงานเพื่อจะได้กำหนดแนวโน้ม ลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) ซึ่งการกำหนดแนวโน้มนี้ควรให้คณะทำงานมีอิสระในการใช้ความคิด
4. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องของแต่ละรายการ
   การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ โดยจะพิจารณาผลกระทบต่อความสามารถของกระบวนการ สำหรับลูกค้าที่เป็นผู้ใช้สุดท้ายจะพิจารณาผลกระทบต่อประโยชน์ใช้สอยที่ลดลงที่ลูกค้าพึงได้รับจากผลิตภัณฑ์และความรุนแรง (Severity - S)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากผลกระทบที่พิจารณานี้ จะได้รับการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลูกค้าหรือเปลี่ยนแปลงการใช้งานเท่านั้น จากนั้นให้พิจารณาถึงสาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง โดยสาเหตุต้องมาจากการพิจารณาแนวความคิดในกระบวนการทำงานและเมื่อทราบสาเหตุแล้วจะพิจารณาถึงความเสี่ยงโดยประเมินถึงโอกาสเกิด (Occurrence - O) จากความเป็นไปได้ที่สาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้น ซึ่งอาจผ่านการวิเคราะห์ความผันแปรเชิงสถิติหรืออาศัยประสบการณ์และความรู้สึกจากผู้ที่มีประสบการณ์ สุดท้ายของขั้นตอนนี้จะพิจารณาถึงระบบการควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน (Current Control) เพื่อพิจารณาว่าระบบควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันมีความสามารถในลักษณะการบ่งชี้ข้อบกพร่องก่อนที่จะเกิดขึ้น จะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงความสามารถในการตรวจจับ (Detection - D) ของระบบ โดยผลการประเมินนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงระบบควบคุม กระบวนการที่ใช้ในปัจจุบันเท่านั้น

5. การประเมินตัวเลขแสดงความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN)
   หลังจากวิเคราะห์ข้อบกพร่องแต่ละรายการแล้วให้ทำการประเมินผลค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาจากทั้ง 3 ประการ คือ
   - ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S)
   - โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O)
   - ความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D)

     RPN = S x O x D
6. กำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อลดความเสี่ยง
   ภายหลังจากการวิเคราะห์ความเสี่ยงแล้ว ทำให้เลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงหรือมีความเสี่ยงมากขึ้นมาพิจารณากำหนดมาตรการตอบโต้ แล้วให้กำหนดการปฏิบัติการ (Action) ให้อยู่ในรูปแบบคณะทำงานที่มีการมอบหมายอย่างเป็นทางการ
7. การประเมินความเสี่ยงภายหลังการตอบโต้
   หลังจากมีการตอบโต้เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยงในรูปของค่า RPN โดยอาศัยกฎเกณฑ์เดิมอีกครั้งเพื่อพิจารณาความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่อง
8. การติดตามและจัดทำมาตรฐาน
   ขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินการ FMEA ในครั้งแรกจะได้จากการติดตามผลเพื่อสร้างความมั่นใจว่ามาตรฐานการตอบโต้ที่กำหนดไว้ได้รับการนำไปปฏิบัติใช้อย่างมีประสิทธิผลหรือไม่ ถ้ามีประสิทธิผลดีแล้วก็ควรดำเนินการจัดทำมาตรฐานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

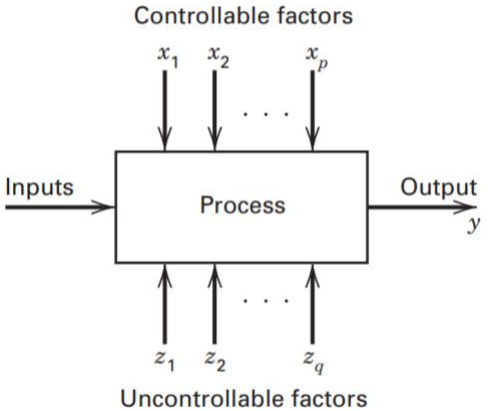
2.5 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design Experiment)

(Douglas C. Montgomery, 2012) คือการทดลองอย่างมีระบบและมีการควบคุม เพื่อทดสอบว่าปัจจัยที่มีในกระบวนการผลิตมีอิทธิพลหรืออิทธิพลระหว่างกันของวัตถุดิบ ความสัมพันธ์ต่อผลที่ได้จากการผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ เพื่อปรับปรุงคุณภาพในองค์กร ลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุดโดยใช้หลักการทางสถิติ หัวใจสำคัญในการแก้ไขปัญหาเพื่อการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการ โดยมีขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง เป็นดังนี้

1. กำหนดปัญหา (Problem Identification)
2. เลือกตัวแปรที่ใช้ชี้วัด (Define Response Variables)
3. กำหนดปัจจัย (Factors Identification)
4. ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)
5. วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)
6. สรุปผล (Conclusion)

โดยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เป็นกระบวนกได้มีการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที่ออกมาจากระบบ (Output Response) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยป้อนเข้า (Input) อันประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่น ๆ ผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-11 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ

จากรูปจะเห็นได้ว่ากระบวนการหรือระบบประกอบด้วยปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ X_1, X_2, ... X_p และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ Z_1, Z_2, ... Z_p โดยทุกปัจจัยสามารถส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของกระบวนการได้

2.5.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing)

(วาสนา ช่อมะลิ, 2555) ได้กล่าวนิยามของสมมติฐาน ไว้ว่า สมมติฐานคือ ความเชื่อหรือสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้น การที่เราตั้งสมมติฐานแล้วพยายามทำการทดสอบหรือพิสูจน์ว่าสมมติฐานนั้นถูกหรือผิด เรียกว่า การทดสอบสมติฐาน (Hypothesis Testing)

ในขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานจะทำเพื่อยืนยันหรือพิสูจน์ ความจริงที่เกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาหรือกระบวนการที่เราได้ทำการศึกษามาแล้วนั้น เป็นไปตามที่คาดคะเนไว้หรือไม่

วิธีการในการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) สามารถดำเนินการดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) ตั้งสมมติฐานฐานหลัก (Null Hypothesis)

เป็นข้อสมมุติหรือข้อความที่ต้องการพิสูจน์ว่าเท็จ (Disprove) หรือข้อความที่ต้องการให้ปฏิเสธ ซึ่งอาจจะเป็นสมมติฐานแบบสองด้านหรือด้านเดียวก็ได้ โดยสมมติฐานหลักต้องเป็นส่วนกลับของสมมติฐานรองจะเขียนสัญลักษณ์ด้วย H_0

2) ตั้งสมมติฐานรองหรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis)

เขียนสัญลักษณ์ด้วย H_a หรือ H_1 เป็นข้อสมมุติหรือข้อความที่ต้องการจะพิสูจน์ว่าจริง (prove) หรือต้องการยอมรับ ยกเว้นกรณีที่พิสูจน์ว่าเท่ากัน

วิธีการตั้งสมมติฐาน อาจจะต้องพิจารณา 3 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 สมมติฐานที่มาจากข้อมูลเก่า ค่าที่กระบวนการดังกล่าวในอดีตหรืออาจจะได้มาจากการทดลองก่อนหน้านี้ก็ได้ กรณีนี้แปลว่าเรากำลังพิสูจน์ว่าค่าพารามิเตอร์หรือกระบวนการ ได้เปลี่ยนแปลงไปหรือยัง

ส่วนที่ 2 สมมติฐานที่มาจากทฤษฎีผลการวิจัยหรือผลจากแบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นการทดสอบสมมติฐานสำหรับกรณีนี้จะเป็นการพิสูจน์ผล หรือยืนยันทฤษฎี หัวข้อการวิจัยหรือแบบจำลอง ว่าถูกต้องหรือไม่

ส่วนที่ 3 สมมติฐานที่มาจากข้อกำหนดทางวิศวกรรม (Engineering specification) ในกรณีนี้จะต้องการทดสอบว่ากระบวนการ ยังตรงตามข้อกำหนดหรือไม่

3) ทำการกำหนดระดับการทดสอบหรือความเสี่ยง (Significance Level หรือ Type I Error ; α)

(พรเทพ ลาภธุวะศิริ, 2544) โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่คำพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐาน เมื่อสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานมีกำหนด

การตัดสินใจที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด อาจเกิดความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน แบ่งได้ 2 กรณี คือ

กรณี 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลัก โดยสมมติฐานหลักมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน เรียกว่าระดับนัยสำคัญ (Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานหลัก โดยที่สมมติฐานหลักมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) แทนด้วยสัญลักษณ์ β และเรียก 1- β ว่า อำนาจในการทดสอบ (Power of Test)

ซึ่งความผิดพลาดทั้ง 2 สามารถสรุปได้ดังตาราง

ตารางที่ 2-5 ความผิดพลาดในการทดสอบสมมติฐาน

ผลการทดสอบ / ความจริง	**ไม่ปฏิเสธ H_0**	**ปฏิเสธ H_1**
H_0 ถูกต้อง	ตัดสินใจถูกต้อง (Confidence Level ; 1- α)	ตัดสินใจผิด (Type I Error ; α)
H_1 ถูกต้อง	ตัดสินใจผิด (Type II Error ; β)	ตัดสินใจถูกต้อง (Power of Test ; 1- β)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

(ธีรศักดิ์ จันทร์กระจ่าง, 2551) ความสัมพันธ์ระหว่าง α กับ β ในกรณีที่กลุ่มตัวอย่างคงที่ โอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนทั้ง 2 ประเภทนี้มีส่วนเกี่ยวข้องสัมพันธ์คือ ถ้าพยายามลดขนาดของ α ก็จะเป็นการเพิ่มขนาดของ β ถ้าเพิ่มขนาดของ α ก็จะเป็นการลดขนาดของ β ดังนั้นในการทดสอบสมมติฐาน ผู้ทดสอบจะต้องคำนึงด้วยว่าความคลาดเคลื่อนชนิดใด เป็นความคลาดเคลื่อนที่ต้องการจะกำจัดให้เท่ากับหรือน้อยกว่าที่ต้องการ ซึ่งปกติแล้วผู้ใช้สถิติจะนิยมกำหนดโอกาสความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 เป็นเบื้องต้น ที่ระบุค่า α การเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่างก็มีส่วนช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และ 2 ลงได้

4) การกำหนดวิธีการตัดสินใจ

ให้พิจารณาถึงตัวสถิติที่ทำการทดสอบและพิจารณาถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวสถิติดังกล่าว ทั้งนี้ต้องนำทฤษฎีการแจกแจงสิ่งตัวอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะอธิบายถึงขนาดของความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างเงื่อนไขของการทดสอบ จากนั้นกำหนดช่วงแห่งการยอมรับและปฏิเสธของตัวสถิติ ซึ่งถ้าหากตัวสถิติที่ทำการทดสอบหรือผลที่ได้จากการคำนวณอยู่ในบริเวณแห่งการยอมรับ ก็ให้ยอมรับมมติฐานหลัก แต่ถ้าหากตัวสถิติสำหรับการทดสอบอยู่ในบริเวณแห่งการปฏิเสธให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก

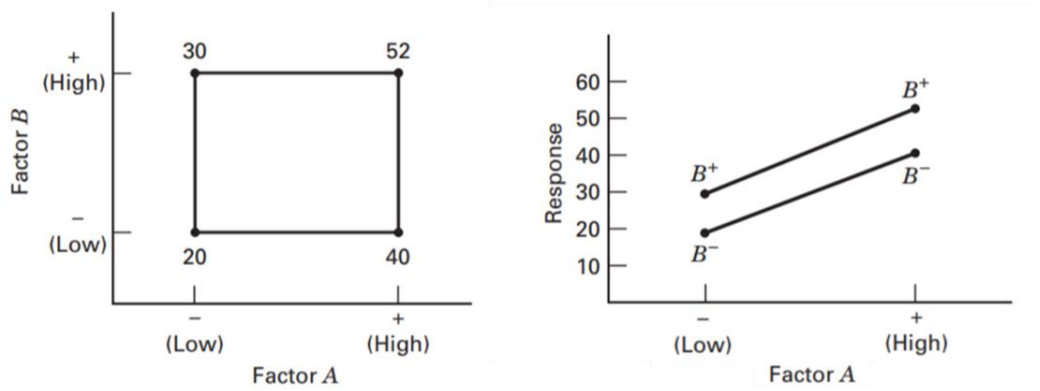
(อลงกต กาญจนคช, 2538) ในการทดสอบสมมติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการดัดสินใจให้มีระดับนัยสำคัญคงที่และมีค่าต่ำ ๆ เช่น 0.05 หรือ 0.10 และให้อำนาจในการทดสอบมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจนจริง ๆ ซึ่งเรียกว่า การตัดสินใจแบบยืนยัน (Strong Conclusion)

2.5.2 การออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design

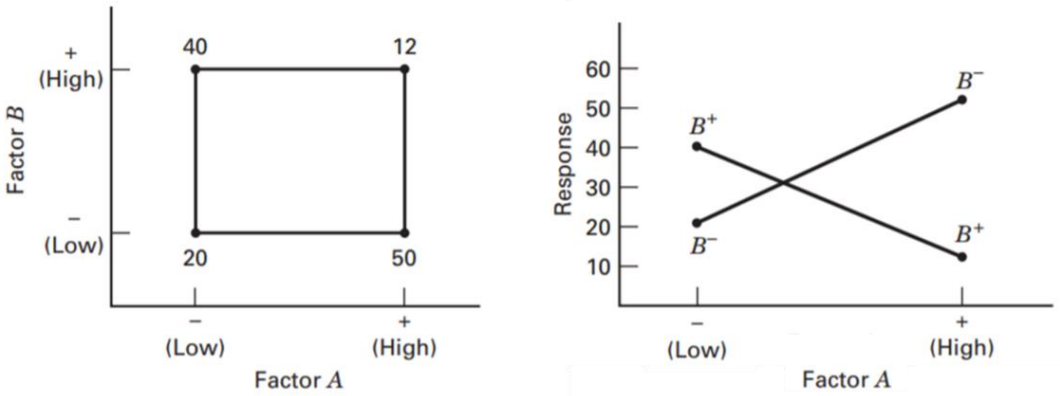
(Douglas C. Montgomery, 2012) การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรดอบสนองในทุก ๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุก ๆTreatment combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะได้รับการศึกษาไปพร้อม ๆ กัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า “อิทธิพลหลัก (Main Effect)” ส่วนอันตรกิริยา (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่าง ๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาจากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ Response เนื่องจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้น ๆ จะเรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) และในบางกรณีจะพบว่าความแตกต่างของ Response ระหว่างระดับของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากัน ในทุกระดับของปัจจัยอื่น ซึ่งแสดงว่าเกิดความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวหรือเรียกว่า อันตรกิริยา (Interaction) โดยค่าที่จุดต่าง ๆ คือตัวแปรดอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัวคือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับคือ - หรือ Low และ + หรือ High

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-12 ตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอิทธิพลหลัก (Main Effect)



รูปที่ 2-13 ตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอันตรกิริยา (Interaction Effect)

(สุรชัย จันทร์เถื่อน, 2560) การออกแบบการทดลองแบบ แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full factorial design) หมายถึงวิธีการทดลองที่ผู้ทำการทดลองจะต้องทำการทดลองให้ครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบของแหล่งความผันแปร (Sources of Variables) ต่อตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังตัวอย่างตามตาราง

ตารางที่ 2-6 เทอมหรือแหล่งความผันแปรที่เป็นไปได้ทั้งหมดของ Full Factorial Design

Main Effects	2-Way Interaction	3-Way Interaction
A	AB	ABC
B	AC	-
C	BC	-

โดยรูปแบบแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full factorial design) ที่สำคัญประกอบไปด้วย

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2-Level Full factorial design)

   2^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟคทอเรียล ซึ่งประกอบด้วย k =2 ปัจจัย และปัจจัยละ 2 ระดับ โดยจะมีการใช้รหัส (Coded) เป็นการปรับเปลี่ยนหน่วยสเกลของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน เพื่อให้ง่ายในการออกแบบและวิเคราะห์เพราะหากใส่ค่าจริงแล้ว จะเสียเวลาและยุ่งยากในการเขียน โดยเฉพาะ Interaction อย่างมาก โดยกำหนดให้ -1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น Low และให้ 1 แทนกรณีที่ตั้งค่าปัจจัยนั้นเป็น High

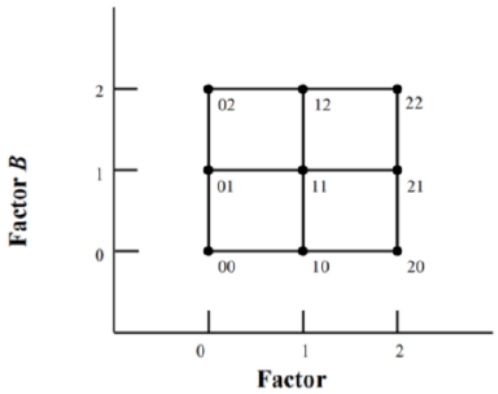
2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3-Level Full factorial design)

   3^k แฟคทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้เพียง 3 ระดับในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย

2.5.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design)

(ปารเมศ ชุติมา, 2545) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับถูกนำ มาใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรม ได้กล่าวถึงการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับไว้ว่า เป็นการทดลองกรณีที่ปัจจัยแต่ละปัจจัย ประกอบไปด้วย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับ ทั้งสาม อาจใช้ตัวเลข 0 แทนระดับต่ำ 1 แทนระดับปานกลาง และ 2 แทนระดับสูงการทดลองร่วมปัจจัยใน การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ โดย 3^k จะแทนด้วยตัวเลขทั้งหมด k ตัว ตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A ตัวเลขตัวที่สองแทนระดับของปัจจัย B และตัวเลขตัวที่ k แทน ระดับของ ปัจจัย k แสดงการทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบการ ทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ ที่ 3^2 โดยตัวเลข 00 จะแสดงถึงการทดลองร่วมปัจจัยที่ทั้งปัจจัย A และ ปัจจัย B อยู่ที่ระดับต่ำ ตัวเลข 01 จะแสดงถึงการทดลองร่วมปัจจัยที่ปัจจัย A อยู่ที่ระดับต่ำ และ ปัจจัย B อยู่ที่ระดับปานกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-14 การทดลองร่วมปัจจัยสำหรับการออกแบบการทดลอง
เชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ ที่ 3^2

2.5.4 การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐาน (Sample size)

ในการทำการทดลอง เพื่อให้ได้ข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ มีความจำเป็นตัวอย่างให้เยอะที่สุด เพื่อให้มั่นใจได้แน่นอน แต่เมื่อท่านได้ทราบข้อจำกัดดังตัวอย่างต่อไปนี้ท่านอาจจะเข้าใจมากขึ้นว่าทำไม ถึงทำอย่างนั้นไม่ได้

สาเหตุของข้อจำกัดในการเก็บตัวอย่างในการทดลอง

1. ต้นทุน บางกรณีผู้ที่ทำการทดลองอาจจะต้องลงทุนสูงมากเพื่อให้ได้ข้อมูลมา ที่ไม่คุ้มค่าหรือไม่ส่งผลประโยชน์
2. เวลา บางครั้งการเก็บตัวอย่างต้องใช้เวลานานเพื่อให้ได้ข้อมูลมา เช่น การทดสอบชิ้นงานโดยใช้เครื่องทดสอบ หากเราเพิ่มจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะทดสอบ เราก็ต้องรอนานมากขึ้น ทำให้เสียเวลาโดยใช่เหตุ ซึ่งก็ทำให้ต้นทุนเพิ่มมากขึ้นทั้งโดยตรงคือค่าใช้จ่าย ค่าเสียเวลา และโดยทางอ้อม
3. ความผิดพลาด บางกรณีการเก็บข้อมูลที่มากเกินไป กลับส่งผลเสียต่อผลการวิเคราะห์ เนื่องจากความคาดเคลื่อนจากการเก็บข้อมูล เช่น เมื่อต้องการข้อมูลมาก ก็ต้องเพิ่มคนเก็บข้อมูล ซึ่งเป็นบ่อเกิดของความแตกต่างอีกด้วย

องค์ประกอบในการกำหนดขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่าง

1. α หรือ α-Risk (อัลฟา) คือระดับความเสี่ยงที่จะสรุปผิด โดยสรุปว่าข้อมูลของสองประชากรนั้น มีความแตกต่างกันมากกว่าค่าวิกฤต (Critical difference) ทั้ง ๆ ที่จริง ๆ แล้วไม่ได้มีความแตกต่างจนถือว่า มีนัยสำคัญหรือ Type I Error ซึ่งโดยปกติการใช้ข้อมูลทางสถิติในการพยากรณ์อะไรก็ตาม ย่อมต้องมีความผิดพลาดเสมอ เมื่อเราไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ จึงต้องจำกัดความเสี่ยงนี้ให้น้อยที่สุด โดยมาตรฐานจะอยู่ที่ 5% แต่บางกรณีอาจจะมากหรือน้อยกว่าก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น การทำการทดลองค้นคว้าหาสิ่งใหม่ ๆ

ค่าความเสี่ยงนี้อาจจะยอมรับได้ถึง 30% เพื่อให้เกิดการค้นพบความรู้ใหม่ ๆ หรือในทางตรงกันข้ามอะไรที่มีอันตรายมาก เช่น ปริมาณการให้ยาแก่ผู้ป่วย ค่าความเสี่ยงอาจจะต้องน้อย เป็น 1%

2. β หรือ β-Risk (เบต้า) คือระดับความเสี่ยงที่จะสรุปข้อมูลของสองประชากรนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน จนถือว่ามีนัยสำคัญหรือเกินกว่าค่าวิกฤต (Critical difference) ทั้ง ๆ ที่จริง ๆ แล้ว ข้อมูลทั้งสองมีความแตกต่างกันจนมากกว่าค่าวิกฤต หรือมีนัยสำคัญแล้ว จะเรียกว่า Type II Error ซึ่งเมื่อเทียบกับ Type I Error แล้วระดับความรุนแรงแห่งความผิดพลาด จะน้อยกว่า ดังนั้นค่าที่ใช้โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 5%-20%

$$\text{Power of the test} = 1-\beta$$

ค่า Power of the test ก็คือระดับความมั่นใจ ว่าจำนวนตัวอย่างที่เลือกนั้นมีสูงแค่ไหน โดยทั่วไป จะอยู่ที่ 80% - 95% ซึ่งในการคำนวณหาขนาดสิ่งตัวอย่างนั้น ค่านี้ จะบ่งบอกความสามารถที่จะเห็นความแตกต่างของข้อมูล 2 ข้อมูล

3. δ หรือ Δ คือระดับความแตกต่าง ที่จะถือว่าเริ่มมีนัยสำคัญของความแตกต่าง โดยปกติเวลาทดสอบสมมติฐาน จะใช้วิธีดูค่าความแตกต่างของทั้งสองข้อมูล เช่น ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย
4. σ คือค่าความแปรปรวนของกระบวนการที่เป็นอยู่ขณะนี้ ซึ่งได้จากการเก็บประวัติการประมาณการอย่างมีเหตุผล เป็นต้น

2.5.5 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

(Douglas C. Montgomery, 2012) แนวทางในการออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. การรับรู้และกำหนดปัญหา (Recognition of and statement of the problem)
   การระบุปัญหาของการทดลองเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดวัตถุประสงค์ทั้งหมดของการทดลอง การทดลองขนาดใหญ่เพียงครั้งเดียวมักจะไม่สามารถตอบคำถามที่ต้องการได้ทั้งหมด ดังนั้นการแบ่งการทดลองออกเป็นขนาดย่อย ๆ จึงถือเป็นกลยุทธ์ในการทดลองที่ดีกว่า
2. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of the response variable)
   ในการเลือกตัวแปรตอบสนองพบว่าบ่อยครั้งค่าเฉลี่ยหรือส่วนเยี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดผลมักจะเป็นตัวแปรตอบสนอง

3. การเลือกปัจจัย ระดับ และช่วงของปัจจัย (Choice of factors, levels and range)
   มีปัจจัยมากมายในการทดลอง ปัจจัยที่ไม่ได้สนใจควรกำหนดเป็นค่าคงที่ ในการคัดเลือกปัจจัยนั้นจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านกระบวนผลิตมาช่วยในการตัดสินใจระบุปัจจัย และเมื่อจุดประสงค์ของการทดลองคือการคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น การกำหนดระดับของปัจจัย ควรมีระดับของปัจจัยน้อย ๆ โดยทั่วไประดับปัจจัยเพียง 2 ปัจจัยถือว่ามีเหมาะสมกับการศึกษาเพื่อคัดกรองปัจจัยเบื้องต้น
4. การเลือกแผนการออกแบบการทดลอง (Choice of experimental design)
   แผนการทดลองขึ้นอยู่ปัจจัยที่ใช้เป็นหลัก การเลือกการทดลองขึ้นอยู่กับการทำซ้ำ แบบการสุ่มและการบล็อก
5. การดำเนินการทดลอง (Performing the experiment)
   ติดตามกระบวนการทดลองอย่างระมัดระวัง ความผิดพลาดในขั้นตอนนี้จะทำลายความเชื่อมั่นของการทดลองได้
6. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical analysis of the data)
   ปัจจุบันมีโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติมากมายช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล แต่ต้องอาศัยความรู้ทางสถิติบวกกับความรู้ทางวิศวกรรมที่ดี จึงจะช่วยให้สามารถสรุปผลลัพธ์ได้อย่างถูกต้อง
7. การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ (Conclusion and recommendations)
   เมื่อข้อมูลจากการทดลองได้รับการวิเคราะห์ จะต้องมีการสรุปผลการทดลอง ติดตามผลและยืนยันผลการทดลองที่ได้ทำการทดลอง (วรรณฤดี อินทนะนก, 2558)

2.5.6 หลักการใช้ในการออกแบบการทดลอง

(พิทักษ์ชน วิเศษ, 2556) หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง แบ่งออกเป็น 3 ประการ ดังนี้

1. การทำซ้ำ (Replication)
   คือ การทดลองซ้ำ เนื่องจากในการทำการทดลองแต่ละครั้ง จะเกิดความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในการทดลอง ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงควรทำการทดลองซ้ำ เพื่อทำให้มั่นใจได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองที่ยอมรับได้ และข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำถูกต้องเหมาะสำหรับนำไปวิเคราะห์ข้อมูลในกระบวนการถัดไป
2. การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การสุ่มลำดับของการทดลอง ซึ่งจะเป็นการกระจายโอกาสที่จะได้รับความผันแปรจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลเวลาในการทำปฏิกิริยาเคมี เช่นความเทียงตรงใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การจับเวลาของผู้ทดลอง ทดลองด้วยโอกาสเท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มยัง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete randomization)
2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

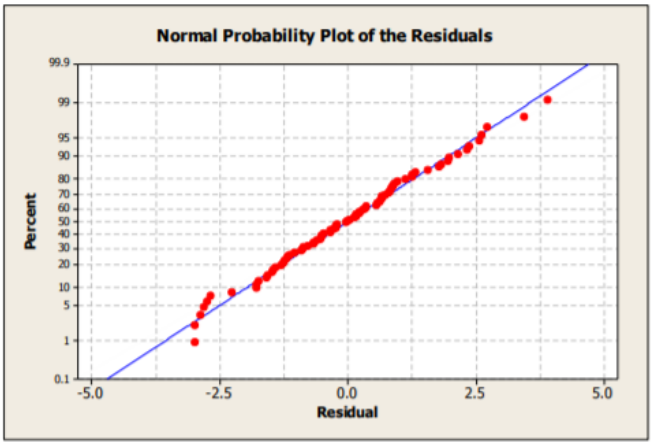
3. การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มการทดลอง ทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นต้องมีการทำเสมอไป (ทศพล เกียรติเจริญผล, 2538) เช่น พนักงานไม่สามารถทำการทดลองแต่ละสภาวะในวันเดียวกันได้อาจจะทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ความชื้น ในแต่ละการทดลองไม่เท่ากัน เพื่อให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น

2.5.7 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบจำลอง

(วรงค์พร บุณยมานนท์, 2556) การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองกรณีหลายปัจจัยนั้น ค่าส่วนตกค้างหรือค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในการทดลองจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ คือ มีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงจะสามารถนำไปใช้ได้ โดยวิธีการตรวจสอบความถูกต้องจะมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Distributed)

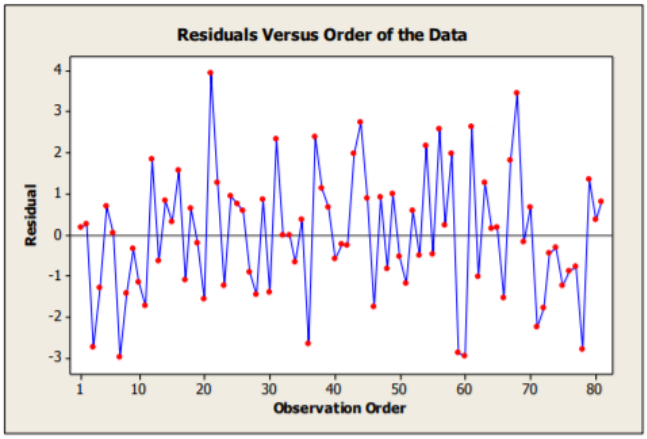
ในการตรวจสอบสมมติฐานการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล สามารถทำได้โดยใช้วิธีการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ถ้าสมมติฐานมีความถูกต้อง คือ มีการแจกแจงแบบปกติ การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟควรมีลักษณะเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูป



รูปที่ 2-15 กราฟแสดงความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้างที่มีการแจกแจงแบบปกติ

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independently Distributed)

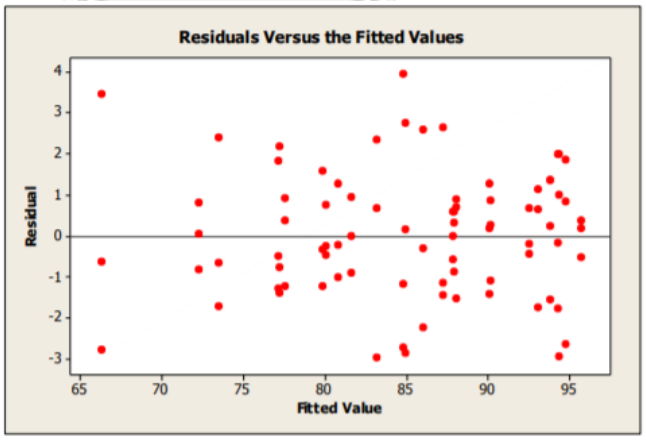
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล จะใช้วิธีการพล็อตค่าส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Observation Order) การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างต้องไม่มีการกระจายที่ปลายข้างหนึ่งมากกว่าปลายอีกข้างหนึ่ง จึงจะถือได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันดังแสดงในรูป



รูปที่ 2-16 กราฟแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล

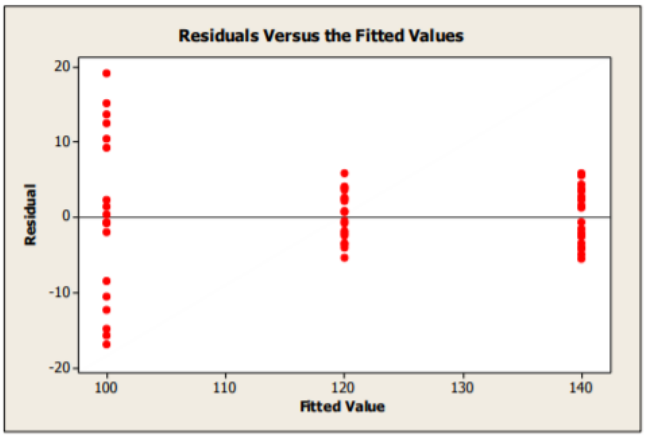
3. การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Constant Variance)

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน จะใช้วิธีการพล็อตค่าส่วนตกค้างกับค่าประมาณการทดลอง (Fitted Value) ที่ระดับ i ใด ๆ ค่าส่วนตกค้างไม่ควรมีรูปแบบหรือโครงสร้างใด ๆ ทั้งสิ้น จึงจะถือได้ว่าค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2-17 กราฟแสดงค่าความแปรปรวนที่มีเสถียรภาพ

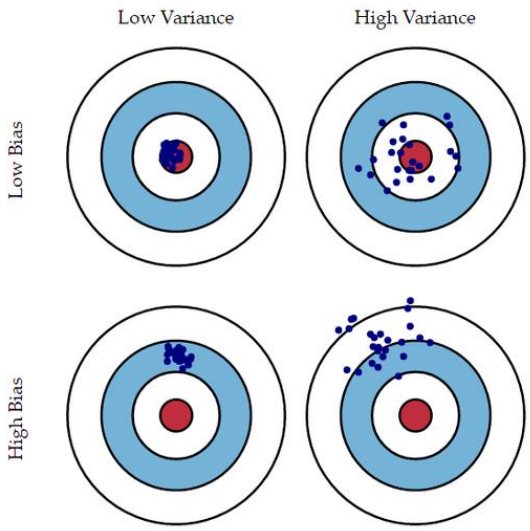
อย่างไรก็ตามหากค่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มของรูปทรง เช่น มีลักษณะเป็นลำโพง จะถือได้ว่าขัดแย้งกับสมมติฐานหรืออาจกล่าวได้ว่าค่าความแปรปรวนไม่มีเสถียรภาพ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2-18 กราฟแสดงค่าความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพ

2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

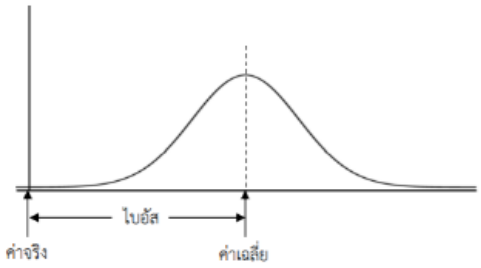
เมื่อได้ทำการวางแผนแล้วว่าจะเก็บข้อมูลจากส่วนใด สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือหากข้อมูลนั้นต้องใช้เครื่องมือวัดในการวัดค่า จะต้องประเมินก่อนว่าระบบการวัดข้อมูลนั้นมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด นั่นคือมีความแม่นและเที่ยงเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์ข้อมูลหรือไม่



รูปที่ 2-19 ตัวอย่างระดับความแม่นและเที่ยง

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นของระบบการวัด จะพิจารณาใน 4 หัวข้อ ได้แก่

1) คุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด (Bias) แสดงถึงความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าเฉลี่ยของ ค่าที่วัดได้บนคุณลักษณะและชิ้นงานเดียวกัน

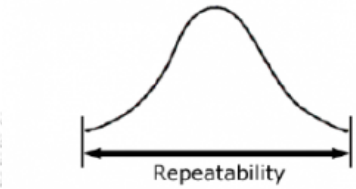


รูปที่ 2-20 ไบอัสของระบบการวัด

2) คุณสมบัติด้านเสถียรภาพของระบบการวัด (Stability) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัสเมื่อ เวลาเปลี่ยนไป
3) คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด (Linearity) จะพิจารณาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัส เมื่อเปลี่ยนแปลงย่านวัด
4) ความละเอียดเครื่องมือวัด (Resolution) จะพิจารณาเครื่องมือวัดว่ามีมาตรฐานความเที่ยงตรงและแม่นยำในการอ่านค่ามากน้อยเพียงใด ด้วยการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ภายในโรงงาน เพื่อสร้างความมั่นใจให้ผู้ใช้งานว่าเครื่องมือที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นมีคุณภาพและมาตรฐานตามที่บริษัทยอมรับเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการต่อไปได้หรือไม่ สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการสอบเทียบเครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) โดยใช้ตุ้มน้ำหนัก (weights) ซึ่งตุ้มน้ำหนักแบ่งชั้นตามคำแนะนำขององค์การมาตรวิทยาทางกฎหมายระหว่างประเทศ (International Organization of Legal Metrology, OIML) โดยแบ่งชั้นตามค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้ (maximum permissible errors, MPE) ของค่าน้ำหนักมวล (nominal conventional mass values) นอกจากนี้แล้วยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุ ความต้านทานการกัดกร่อน, ความแข็ง, ความต้านทานการสึกหรอ, ความเปราะ, ความเป็นแม่เหล็ก, โครงร่างรูปทรง และความเรียบผิว ซึ่งในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะตุ้มน้ำหนักระดับ Class E2 โดยจะมีค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Maximum permissible errors, MPE) ที่ 1 กิโลกรัม (kg) ไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัม (mg)

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงของระบบการวัด จะพิจารณาใน 2 หัวข้อ ได้แก่

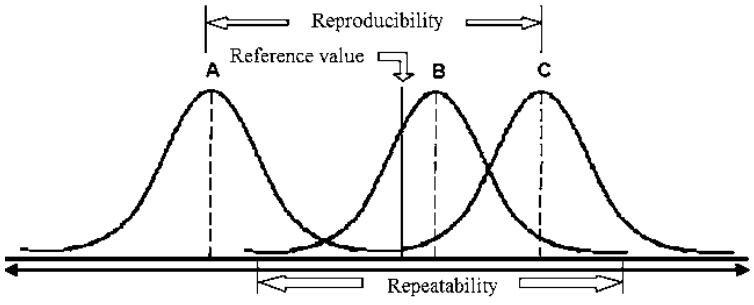
1) คุณสมบัติด้านรีพีททะบิลิตี้ (Repeatability) เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการอ่านซ้ำของเครื่องมือวัด โดยจะต้องใช้ผู้ทดลองทำการวัดคนเดียว งานตัวเดียวบนสภาวะแวดล้อมเดียวกัน วัดซ้ำบนเครื่องมือวัดนั้นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อดูว่าค่าที่ได้จ่ากการวัดแต่ละครั้งนั้นใกล้เคียงกันหรือไม่ แสดงถึงความผันแปรของอุปกรณ์การวัดด้วยเพราะว่าหลายครั้งผลสะท้อนกลับไปเรื่องการออกแบบอุปกรณ์หรือเงื่อนไขการวัด เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด



รูปที่ 2-21 ความผันแปรในส่วนรีพีททะบิลิตี้

2) คุณสมบัติด้านรีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) เพื่อที่จะดูว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมเดียวกัน เครื่องมือวัดเครื่องเดียวกันและชิ้นงานเดียวกัน แต่ทำการเปลี่ยนผู้ทดลองวัดค่าที่วัดออกมาจะยังคงเชื่อถือได้หรือไม่ เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของคนวัดโดยข้อแนะนำสำหรับค่าที่ยอมรับได้คือ ความผิดพลาดของค่าวัดที่ยอมรับได้คือ 10%-30% เกณฑ์การยอมรับระบบการวัดจะให้ความสำคัญกับต้นทุนของการใช้เครื่องมือวัดเป็นสำคัญ ต้นทุนการซ่อมแซมหรือการปรับปรุงความสามารถกระบวนการที่เป็นอยู่ ถ้าหากความผิดพลาดของค่าวัดมากกว่า 30% ระบบการวัดต้องการการปรับปรุง (ขึ้นอยู่กับความสามารถกระบวนการด้วย) ทุก ๆ การดำเนินการเพื่อระบุปัญหาและทำมันให้ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2-22 ความผันแปรในส่วนรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ โดยทำการเลือกตัวแบบการทดลอง (Design) จำนวนปัจจัย (factors) และจำนวนระดับของปัจจัย (Level of factors) ที่เหมาะสม เพื่อค้นหาข้อเท็จจริงในการแก้ไขปรับปรุงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อกระบวนการทดลอง โดยมีขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง ดังนี้

1. กำหนดปัญหา (Problem Identification)
2. กำหนดปัจจัย (Factors Identification)
3. ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)
4. วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)
5. สรุปผล (Conclusion)

3.1 การกำหนดปัญหา (Problem Identification)

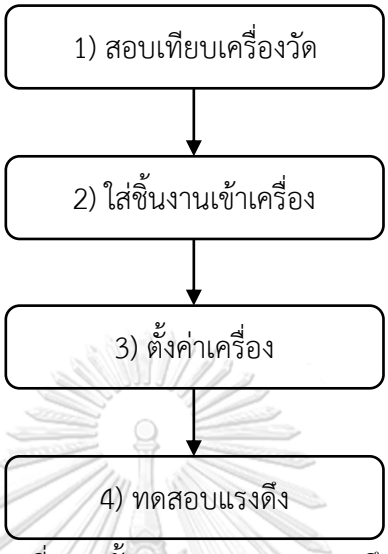
จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา ในการวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาค่าแรงดึงค่าน้อยกว่าเป้าหมาย คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน ก่อนทำการปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทวนสอบค่าแรงดึงในปัจจุบัน โดยการควบคุมกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ให้ตรงตามมาตฐานการผลิตปัจจุบัน อ้างอิงตามขั้นตอนกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังที่ได้กล่าวไว้ ในบทที่ 1

ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแรงดึง 30 ชิ้น โดยชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบค่าแรงในปัจจุบัน จะทำการพักทิ้งไว้หลังจากอบกาวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดสอบค่าแรง ซึ่งเป็นมาตฐานในการทดสอบค่าแรงของโรงงานกรณีศึกษา

เนื่องจากชิ้นงานสำเร็จเป็นชิ้นงานที่มีมูลค่าสูงและในการทดสอบค่าแรงดึงตามมาตฐานของโรงงานกรณีศึกษา จะทำการทดสอบเฉพาะบริเวณประกอบ ดังนั้นในการทวนสอบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง จึงทำการประกอบเฉพาะส่วนที่จะทำการทดสอบค่าแรงดึง ดังรูปชิ้นงานในการทดสอบค่าแรงดึง

รูปที่ 3-1 ชิ้นงานในการทดสอบค่าแรงดึง

โดยมีขั้นตอนในการทดสอบค่าแรงดึง ตามมาตฐานในการทดสอบค่าแรงของโรงงานกรณีศึกษา 4 ขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง

1) สอบเทียบเครื่องวัด

ก่อนนำเครื่องมือวัดไปทดสอบวัดค่าแรงดึงของชิ้นงาน เนื่องด้วยหากเครื่องวัดค่าแรงดึงเกิดความคลาดเคลื่อนนอกจากทำให้ระบบการวัดผลไม่ได้คุณภาพแล้ว อาจทำให้เกิดการตัดสินในผิดพลาดในการแก้ปัญหาก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าการวัดค่านั้นจะให้ผลที่มีความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นการสอบเทียบเครื่องมือวัดจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

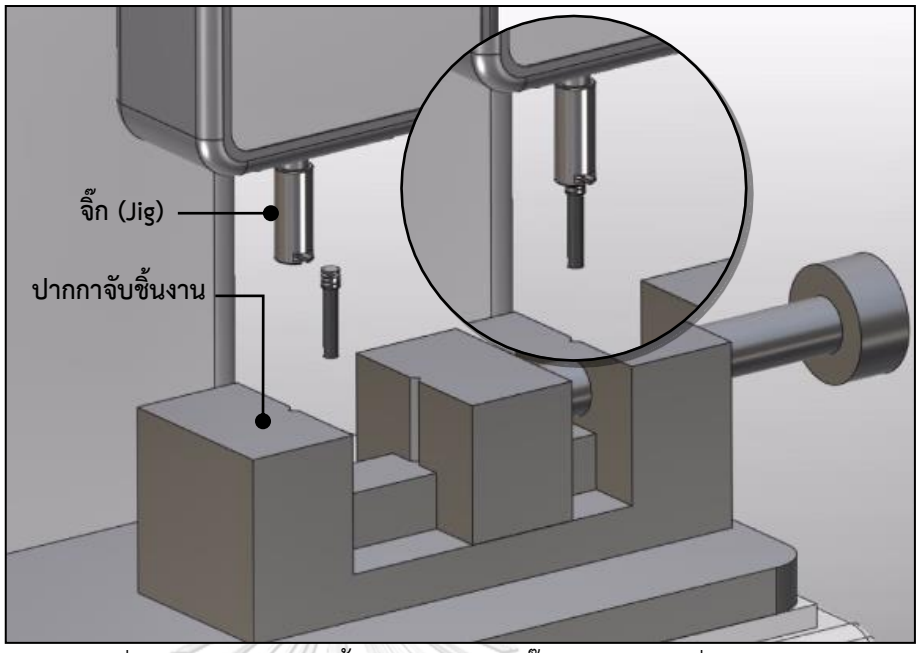
ทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Weight) ในการสอบเทียบ ตามมาตรฐาน International Organization of Legal Metrology, OIML ระดับชั้น E2 หมายความว่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Weight) ขนาด 1 กิโลกรัม (kg) จะมีค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Maximum permissible errors, MPE) ไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัม (mg)

รูปที่ 3-3 เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge)

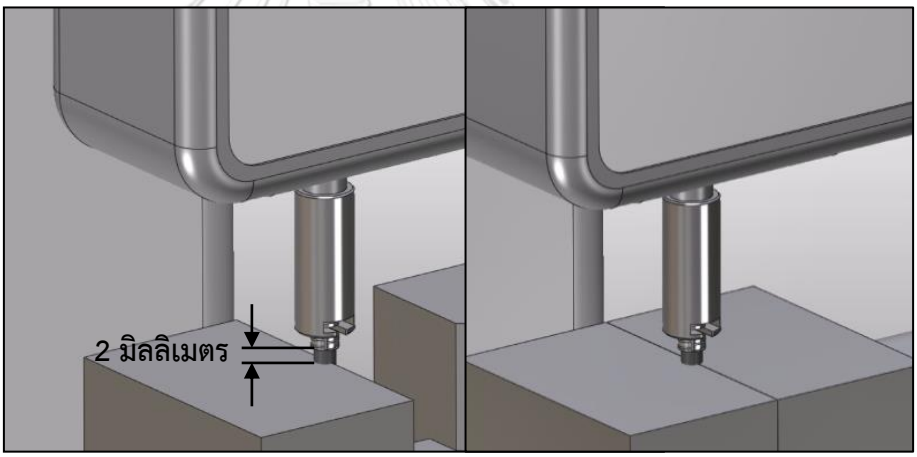
รูปที่ 3-4 ตุ้มน้ำหนักมาตรฐานในการสอบเทียบ

2) ใส่ชิ้นงานเข้าเครื่อง

ใส่ชิ้นงานที่เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) โดยส่วนบนทำการใส่ฝาท้ายชิ้นงานเข้ากับจิ๊ก (Jig) สำหรับล็อคฝาท้ายชิ้นงาน จากนั้นกดเครื่องลงเพื่อให้ปากกาจับชิ้นงานทำการหนีบยึดชิ้นงาน โดยระยะระหว่างปากกาจับชิ้นงานและส่วนปลายของฝาท้ายชิ้นงานจะมีระยะห่างประมาณ 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-5 จำลองการใส่ชิ้นงานเข้าเข้ากับจิ๊ก (Jig) ของเครื่องวัดแรงดึง



รูปที่ 3-6 จำลองการหนีบยึดชิ้นงานของเครื่องวัดแรงดึง

3) ตั้งค่าเครื่อง

ตั้งค่าเครื่องวัดแรงดึง โดยกำหนดพารามิเตอร์ความเร็ว 300 มิลลิเมตร/นาที ก่อนวัดแรงดึงทำการกดปุ่มตั้งศูนย์

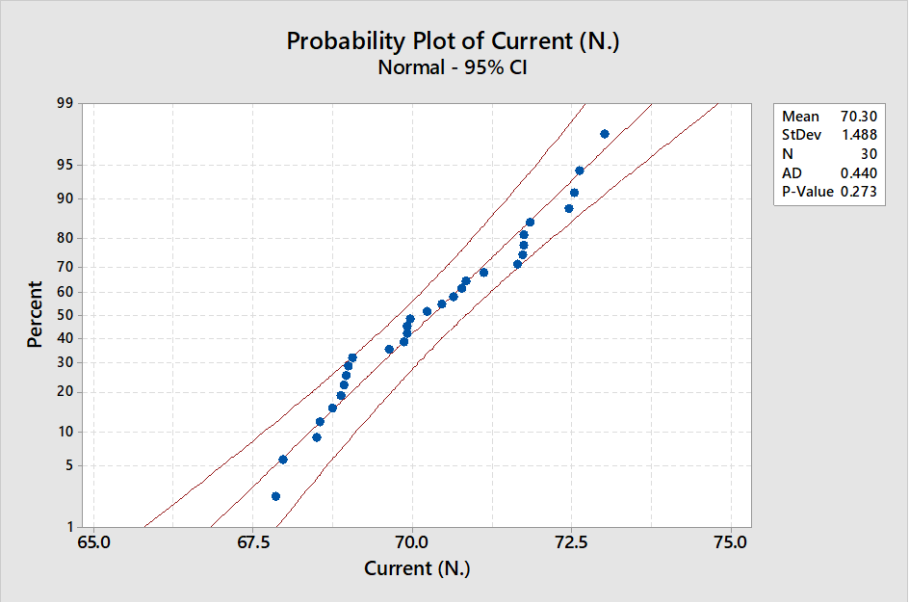
4) ทดสอบแรงดึง

กดปุ่มเพื่อทดสอบแรงดึง เครื่องจะโชว์ค่าสูงสุดที่ดึงได้

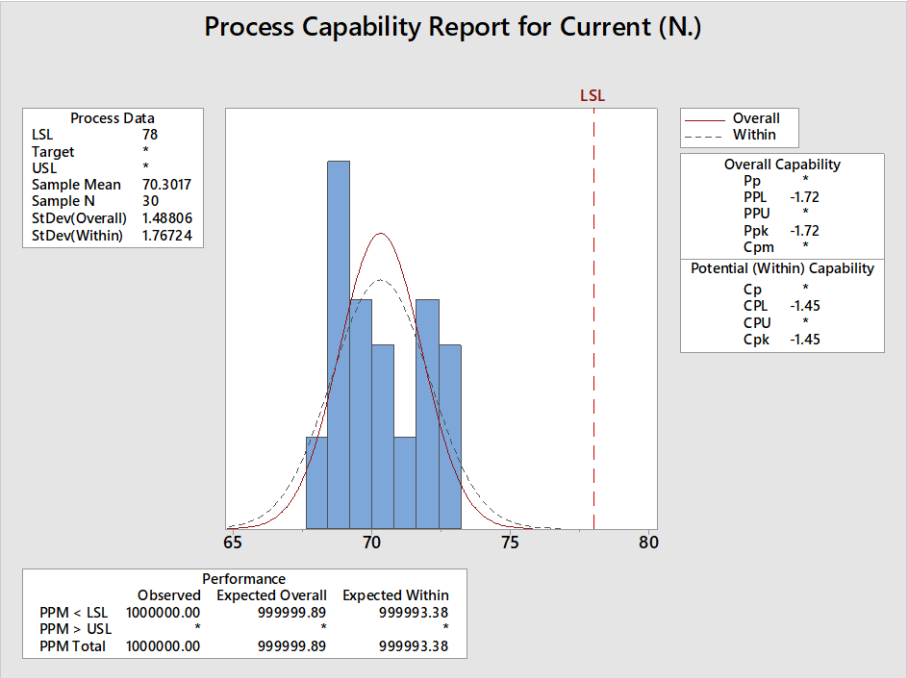
ซึ่งหลังการทดสอบ พบว่าสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงาน โดยลักษณะการหลุด จะเป็นการหลุดระหว่างแผ่นสเตนเลส ที่มีการบีบกับเข้ากับสายหนัง กับฝาท้ายชิ้นงาน

รูปที่ 3-7 ตัวอย่างชิ้นงานหลังจากผ่านการทดสอบค่าแรงดึง

เมื่อทำการทดสอบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังในปัจจุบัน จึงนำมาวิเคราะห์ผลโดยการประเมินผลความสามารถของกระบวนการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ในการวิเคราะห์ค่าเป็นกราฟ โดยค่าแรงดึงเป้าหมายคือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน



รูปที่ 3-8 กราฟ Probability Plot ค่าแรงดึงของงานในการทดสอบ



รูปที่ 3-9 กราฟ Process Capability ค่าแรงดึงของงานในการทดสอบ

พิจารณากราฟ Probability Plot พบว่าค่า P-Value มีค่า 0.273 ซึ่งมากกว่า 0.05 สรุปได้ว่ากระบวนการนี้ข้อมูลแจกแจงปกติ สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการได้

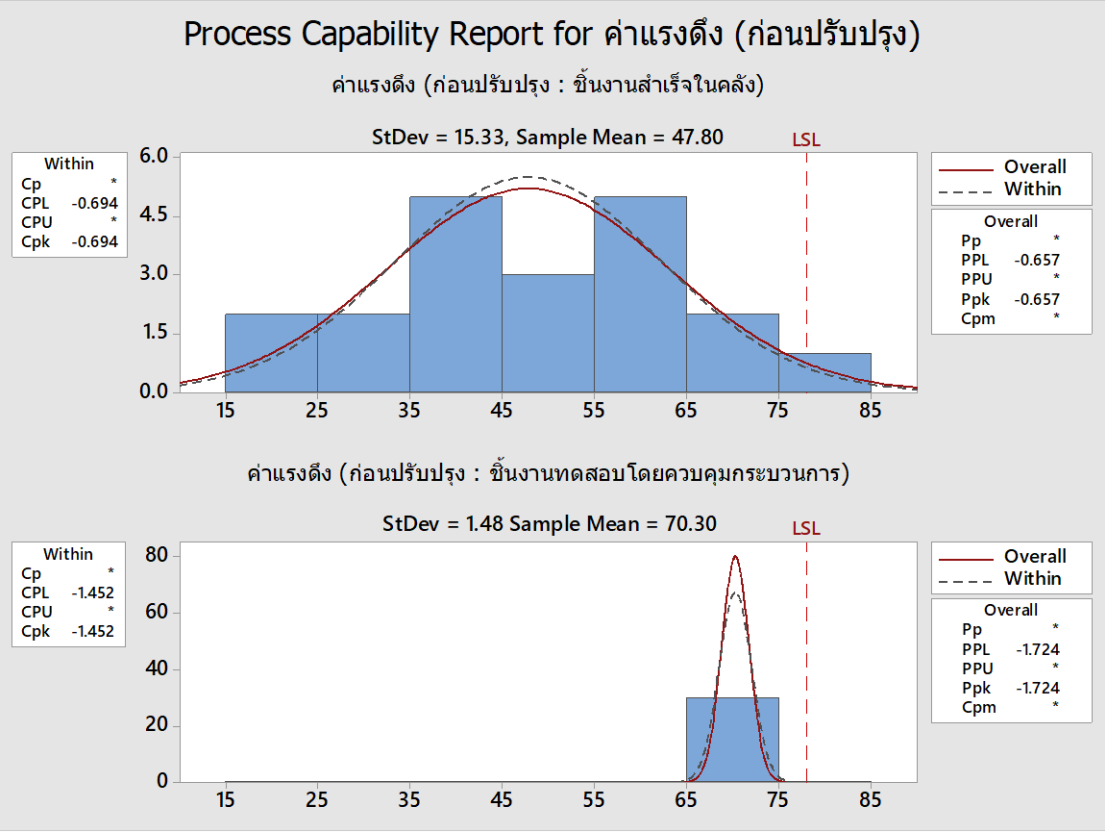
พิจารณากราฟ Process Capability พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงดึงมีค่า 70.30 นิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดึงเป้าหมายคือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.48 และค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ -1.45 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 ที่เป็นเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงถึงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่ความสามารถของกระบวนการยังอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ เนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายอยู่มากเกินไปจึงควรหาวิธีการในการปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงให้สูงกว่าเป้าหมาย

วิเคราะห์เพิ่มเติมโดยทำการเปรียบเทียบกับ ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่อยู่ในคลังสินค้าในปัจจุบัน ดังรูปที่ 1-24 กราฟ Process Capability ค่าแรงดึงของงานชิ้นงานสำเร็จ กับค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังปัจจุบันที่ทำการควบคุมกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังให้ตรงตามมาตฐานการผลิตปัจจุบัน ดังรูปที่ 3-9 กราฟ Process Capability ค่าแรงดึงของงานในการทดสอบ โดยจัดทำกราฟเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 3-10 กราฟ Process Capability เปรียบเทียบค่าแรงดึงก่อนการปรับปรุงระหว่างชิ้นงานสำเร็จในคลังกับชิ้นงานทดสอบที่ควบคุมกระบวนการ พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าแตกต่างกันมาก โดยที่ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่อยู่ใน

คลังสินค้าในปัจจุบัน มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 15.33 แต่ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเมื่อควบคุมกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ให้ตรงตามมาตฐานการผลิตปัจจุบัน พบว่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 1.48 ซึ่งน้อยกว่าค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่อยู่ในคลังสินค้าในปัจจุบันที่อย่างมาก

สรุปได้ว่าการเมื่อควบคุมกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ให้ตรงตามมาตฐานการผลิตปัจจุบันสามารถลดระดับความผันแปรของกระบวนการลงได้ โดยมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการควบคุมกระบวนการจะสามารถลดระดับความผันแปรของกระบวนการลงได้ แต่ความสามารถของกระบวนการยังอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ เนื่องจาก ค่า C_{pk} ยังน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงให้ค่าเฉลี่ยของแรงดึงให้อยู่ในค่าเป้าหมาย คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน



รูปที่ 3-10 กราฟ Process Capability เปรียบเทียบค่าแรงดึงก่อนการปรับปรุงระหว่างชิ้นงานสำเร็จในคลังกับชิ้นงานทดสอบที่ควบคุมกระบวนการ

จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา เมื่อทวนสอบค่าแรงดึงปัจจุบันพบว่าไม่อยู่ในค่าเป้าหมาย คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดอาการงานเสียสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงาน หรือเรียกชื่ออาการงานเสียว่า การประกอบหลุด พบว่ากรณีของเสียที่เกิดขึ้น เกิดจากกระบวนการประกอบ ดังนั้นการศึกษานี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการประกอบ เพื่อนำมาวิเคราะห์และปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังให้อยู่ในช่วงเป้าหมาย โดยจัดทำ

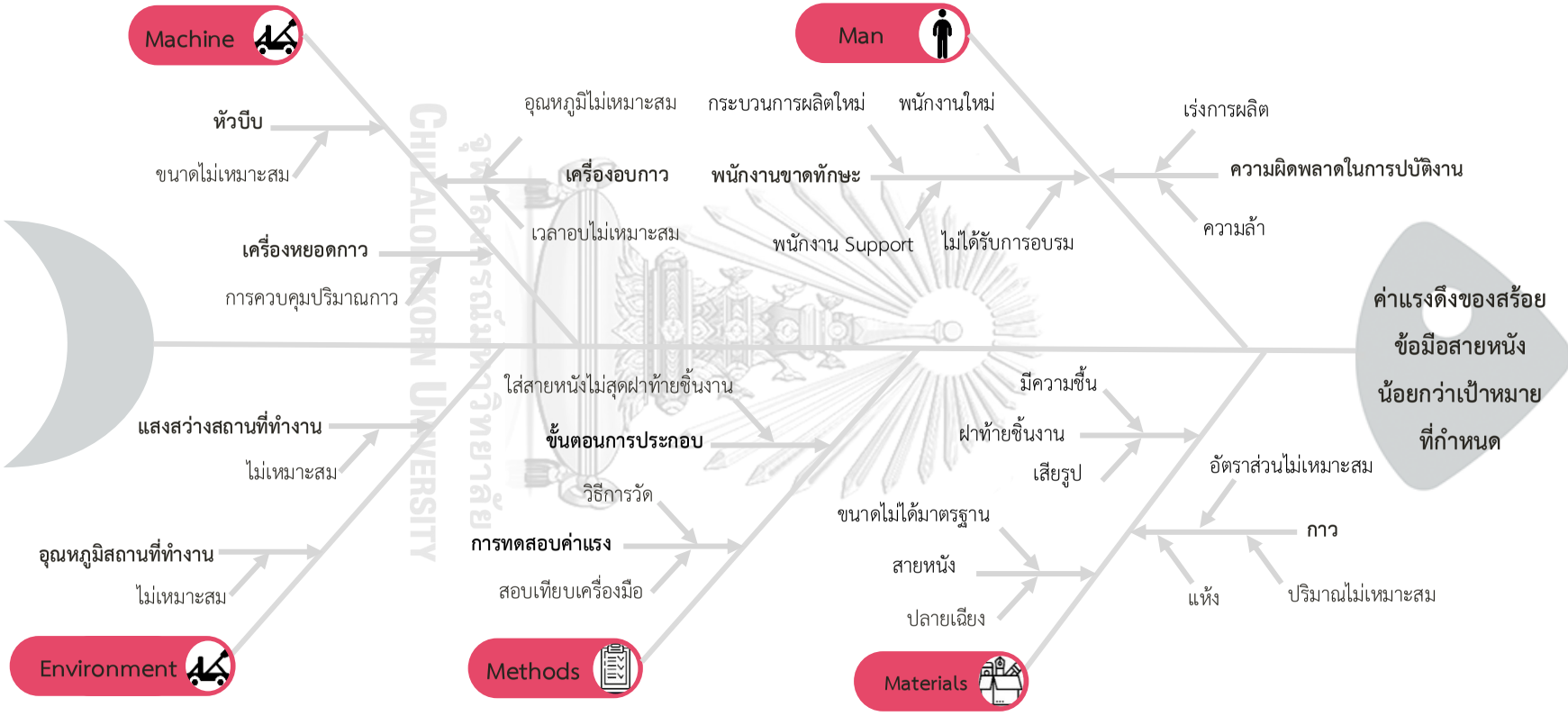
1. แผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram)

วิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของของค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด โดยได้ข้อมูลมาจากการระดมความคิด การศึกษาและจดบันทึกการทำงาน จากทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกกระบวนการประกอบโดยตรง รวมทั้งสิ้น 10 คน ดังนี้

ตารางที่ 3-1 ทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของกระบวนการประกอบ

จำนวนคน	ตำแหน่ง	ประสบการณ์	จำนวนปี
1	ผู้จัดการฝ่ายผลิต	จบการศึกษาปริญญาตรีในด้านวิศวกรรมการผลิต มีประสบการณ์ทำงานในสายการผลิตเครื่องประดับ	มากกว่า 10 ปี
1	ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ	จบการศึกษาปริญญาตรีในด้านอัญมณีและเครื่องประดับ มีประสบการณ์ทำงานในสายการผลิตเครื่องประดับ	มากกว่า 10 ปี
2	วิศวกรฝ่ายผลิต	จบปริญญาตรีในด้านวิศวกรรมการผลิต มีประสบการณ์ทำงานในสายการผลิตเครื่องประดับ	มากกว่า 5 ปี
1	หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ	จบปริญญาตรีในด้านอัญมณีและเครื่องประดับ มีประสบการณ์ทำงานในสายการผลิตเครื่องประดับ	มากกว่า 5 ปี
1	หัวหน้าแผนกกระบวนการประกอบ	มีประสบการณ์ทำงานในสายการผลิตเครื่องประดับ	มากกว่า 10 ปี
4	พนักงานแผนกกระบวนการประกอบ	มีประสบการณ์ทำงานในสายการผลิตเครื่องประดับ	3 ปี -10 ปี

จากการระดมความคิดจากทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกผลิต ในส่วนกระบวนการประกอบโดยตรง ทั้ง 10 คน ทำให้สามารถระบุปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยสามารถอธิบายได้ดังแผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) ดังนี้



รูปที่ 3-11 การวิเคราะห์แผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) แสดงสาเหตุค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด

2. ตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

จากจากการระดมความคิดจากทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกผลิต ในส่วนกระบวนการประกอบทั้ง 10 คน โดยใช้เครื่องมือแผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) ทำให้ได้ปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ทั้งหมดจำนวน 21 ปัจจัย จากนั้นจึงได้นำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์ต่อด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) โดยมีการให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผลจาก 0 คะแนน ถึง 9 คะแนน โดยที่คะแนนของแต่ละความสัมพันธ์มีความหมายดังนี้

ตารางที่ 3-2 คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผลของปัจจัย ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

คะแนน	ความสัมพันธ์ของเหตุและผล
9	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง สูงมาก
8	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับค่อนข้างสูงมาก
7	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับค่อนข้างสูง
6	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับพอสมควร
5	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับปานกลาง
4	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับระดับค่อนข้างน้อย
3	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับน้อย
2	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับน้อยมาก
1	ปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ในระดับน้อยที่สุด
0	ปัจจัยนี้ไม่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

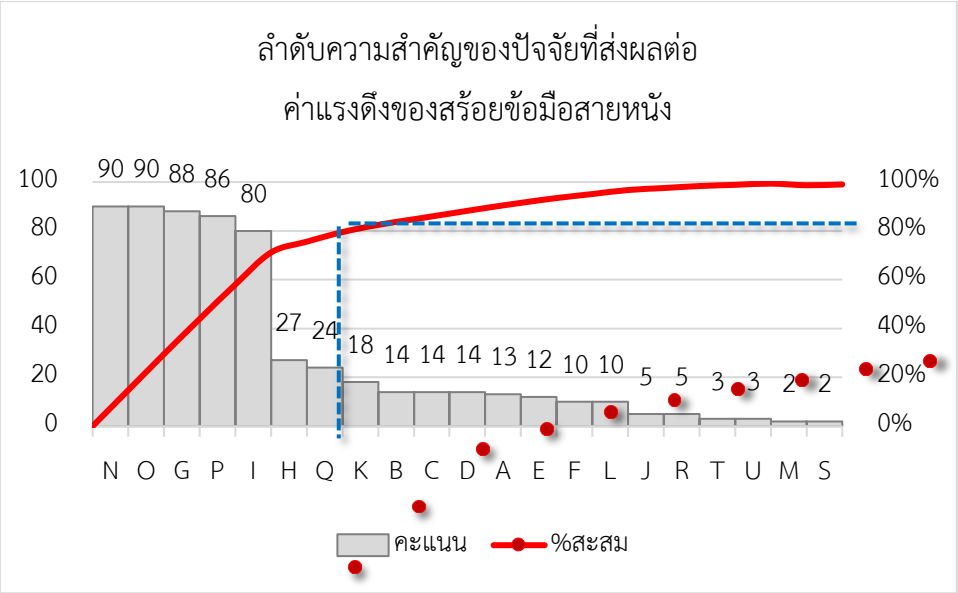
จากการระดมความคิดและวิเคราะห์ร่วมกันของทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ โดยแผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง มีสาเหตุและสรุปเป็นคะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล ได้ดังนี้

ตารางที่ 3-3 คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผลของแต่ละปัจจัย ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

ลำดับ	ประเภท	สาเหตุ	ต้นเหตุของการเกิด	ตัวแปร	คะแนน
1	Man	พนักงานขาดทักษะ	กระบวนการผลิตใหม่	A	13
2			พนักงานใหม่	B	14
3			พนักงาน Support	C	14
4			ไม่ได้รับการอบรม	D	14
5		ความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน	เร่งการผลิต	E	12
6			ความล้า	F	10
7	Machine	หัวบีบ	ขนาดไม่เหมาะสม	G	88
8		เครื่องหยอดกาว	การควบคุมปริมาณกาว	H	27
9		เครื่องอบกาว	อุณหภูมิและเวลาไม่เหมาะสม	I	80
10	Material	ฝาท้ายชิ้นงาน	มีความชื้น	J	5
11			เสียรูป	K	18
12		สายหนัง	ขนาดไม่ได้มาตรฐาน	L	10
13			ปลายเฉียง	M	2
14		กาว	อัตราส่วนไม่เหมาะสม	N	90
15			ปริมาณไม่เหมาะสม	O	90
16			แห้ง	P	86
17	Method	การประกอบ	ใส่สายหนังไม่สุดฝาท้าย	Q	24
18		การทดสอบค่าแรง	สอบเทียบเครื่องมือวัด	R	5
19			วิธีการวัด	S	2
20	Environment	แสงสว่าง	ไม่เหมาะสม	T	3
21		อุณหภูมิ	ไม่เหมาะสม	U	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลังจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์แต่ละคนให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล ในแต่ละปัจจัยทั้งหมดที่คาดว่าส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง จึงได้ทำการสรุปคะแนนโดยใช้หลักการพาเรโตในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ได้ดังนี้



รูปที่ 3-12 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

จากแผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยเรียงคะแนนจากมากไปน้อย พบว่าปัจจัยที่มีสัดส่วนน้ำหนัก 80% ซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเป็นอย่างมาก มีทั้งหมด 7 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม, ปริมาณกาวไม่เหมาะสม, ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม, กาวแห้ง, เครื่องอบกาวตั้งอุณหภูมิและเวลาไม่เหมาะสม, การควบคุมปริมาณกาวของเครื่องหยอดกาว และ ใส่สายหนังไม่สุดฝาท้ายชิ้นงาน ตามลำดับ

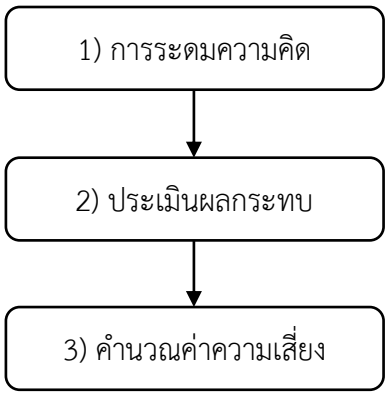
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3-4 ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ลำดับที่ 1 ถึง 7

ลำดับความสำคัญ	ตัวแปร	ปัจจัย	คะแนน
1	N	อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม	90
2	O	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม	90
3	G	ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม	88
4	P	กาวแห้ง	86
5	I	เครื่องอบกาวตั้งอุณหภูมิและเวลาไม่เหมาะสม	80
6	H	การควบคุมปริมาณกาวของเครื่องหยอดกาว	27
7	Q	ใส่สายหนังไม่สุดฝาท้ายชิ้นงาน	24

3. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA)

จากการให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ทำให้ได้คะแนนปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง มากที่สุดจำนวน 7 ปัจจัย จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ต่อเพื่อให้ได้สาเหตุของปัจจัยที่แท้จริงที่ทำให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง น้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด โดยการใช้เทคนิควิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซึ่งพิจารณาจากค่าความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number, RPN) มาจากการคูณกันของคะแนนการประเมินความรุนแรง (Severity : S) คะแนนโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence : O) และคะแนนการควบคุมป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่อง (Detection : D) ทั้งนี้การ ที่จะนำเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) มาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับจะต้องมีการดัดแปลงตารางเกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความรุนแรง คะแนนโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องและคะแนนการควบคุมป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่อง ให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ ทั้งนี้หลักเกณฑ์การประเมินที่ดัดแปลงขึ้นได้มีการประชุมทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกกระบวนการประกอบ ทั้ง 10 คน เพื่อทำการกำหนดหลักเกณฑ์การให้คะแนนให้สอดคล้องกับโรงงานกรณีศึกษาโดยมีแนวคิดที่ว่าเกณฑ์การให้คะแนนควรง่ายต่อการทำความเข้าใจและการใช้งาน และเนื่องจากอุตสาหกรรมเครื่องประดับมีลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เล็ก หากแบ่งตามเกณฑ์ 10 เกณฑ์เหมือนกับทางอุตสาหกรรมยานยนต์จะยากต่อการให้คะแนน ดังนั้นจากการประชุมทีมงานจึงมีข้อสรุปร่วมกันคือ จะแบ่งเกณฑ์แต่ละเกณฑ์ใหม่เป็น 5 ระดับ โดยดำเนินการภายใต้ระยะเวลาเริ่มต้นเร็วที่สุดเท่าที่สามารถจะกระทำได้ ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้



รูปที่ 3-13 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ

1) การระดมความคิด

ระดมความคิดและวิเคราะห์ร่วมกันของทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการกำหนด ทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ โดยในทีมงาน ได้แก่ ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพวิศวกรฝ่ายผลิต หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ หัวหน้าแผนกผลิตกระบวนการประกอบ และพนักงานแผนกผลิตกระบวนการประกอบ

2) ประเมินความร้ายแรงของผลกระทบจากปัจจัย

หลังจากการระดมความคิด วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด แล้วให้ทำการประเมินผลค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาจากปัจจัยทั้ง 3 ประการ ดังนี้

S - Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบ

O - Occurrence คือ ระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง

D - Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง

3) คำนวณค่าความเสี่ยงแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN)

RPN = S x O x D

ทำการบันทึกค่าลงในตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง (Failure mode and effect analysis, FMEA) ทำให้สามารถคาดการณ์ปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยจัดอันดับความสำคัญก่อน-หลัง เพื่อที่สามารถดำเนินการกับข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) โดยทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกกระบวนการประกอบ ทั้ง 10 คน ได้ มีข้อสรุปการให้คะแนนร่วมกันคือจะแบ่งเกณฑ์การประเมินแต่ละเกณฑ์ใหม่เป็น 5 ระดับ ดังนี้

1) เกณฑ์การประเมินความรุนแรง (S - Severity) สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้
   - ระดับที่ 5 คือ มีผลกระทบร้ายแรงต่อความปลอดภัย มีผลต่อกฎหมาย เช่น น้ำหนักเงินไม่ครบตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด หรืออาจต้องทำลายผลิตภัณฑ์ทิ้งทั้งหมด
   - ระดับที่ 4 คือ สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุกราย เช่น ชิ้นงานเสียรูปทรงไม่สามารถนำมาใส่กับสร้อยได้, ชิ้นงานการประกอบหลุด, พลอยหลุดออกจากชิ้นงาน, พลอยแตกหรืออาจต้องซ่อมแก้ไขผลิตภัณฑ์จากการผลิตบางส่วนที่นอกสายการผลิตก่อนที่จะยอมรับได้
   - ระดับที่ 3 คือ สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าบางราย แต่ไม่มีผลกระทบต่อสินค้า เช่นชิ้นงานขัดตะเข็บออกไม่หมด ซึ่งลูกค้าบางรายอาจไม่ยอมรับหรืออาจต้องซ่อมแก้ไขผลิตภัณฑ์จากการผลิตทั้งหมด 100% ที่จุดปฏิบัติงานก่อนที่จะยอมรับได้
   - ระดับที่ 2 คือ มีผลกระทบต่อลูกค้าน้อยมากและไม่มีผลกระทบต่อการใช้สินค้า เช่น ชิ้นงานเป็นรอยขูดขีดเล็กน้อย มองด้วยตาเปล่าแทบจะไม่เห็น หรือเกิดความไม่สะดวกเล็กน้อยต่อกระบวนการผลิตบางส่วนที่จุดปฏิบัติงาน
   - ระดับที่ 1 คือ ไม่มีผลกระทบที่รู้สึกถึงได้ คือสินค้าออกมาได้ดีตามมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-5 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S - Severity)

ผลกระทบ	ระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (ผลกระทบต่อที่มีต่อลูกค้า)	ระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (ผลกระทบต่อที่มีต่อกระบวนการภายใน)	ระดับคะแนน
สูงมาก	มีผลกระทบร้ายแรงต่อความปลอดภัย มีผลต่อกฎหมาย	แนวโน้มของข้อบกพร่องมีผลกระทบต่อคุณภาพเครื่องประดับมาก อาจต้องทำลายผลิตภัณฑ์ทิ้งทั้งหมด	5
สูง	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุกราย	แนวโน้มของข้อบกพร่องมีผลกระทบต่อคุณภาพเครื่องประดับมาก อาจต้องซ่อมแก้ไขผลิตภัณฑ์จากการผลิตบางส่วนที่นอกสายการผลิต ก่อนที่จะยอมรับได้	4
ปานกลาง	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าบางราย แต่ไม่มีผลกระทบต่อสินค้า	แนวโน้มของข้อบกพร่องมีผลกระทบต่อคุณภาพเครื่องประดับมาก อาจต้องซ่อมแก้ไขผลิตภัณฑ์จากการผลิตทั้งหมด 100% ที่จุดปฏิบัติงาน ก่อนที่จะยอมรับได้	3
ต่ำ	มีผลกระทบต่อลูกค้าน้อยมากและไม่มีผลกระทบต่อการใช้สินค้า	เกิดความไม่สะดวกเล็กน้อยต่อกระบวนการผลิตบางส่วนที่จุดปฏิบัติงาน	2
ต่ำมาก	สินค้าออกมาตามมาตรฐาน	สินค้าออกมาได้ดีตามมาตรฐาน	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) เกณฑ์การประเมินระดับความน่าจะเป็นของโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง (O - Occurrence) ซึ่งเกณฑ์การยอมรับ ในกระบวนการผลิต สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ คือ 3 ครั้ง แต่ไม่เกิน 12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับที่ 5 คือ เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ (มากกว่า 12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง)
- ระดับที่ 4 คือ เกิดข้อบกพร่องบ่อย (9-12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง)
- ระดับที่ 3 คือ เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว (6-9 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง)
- ระดับที่ 2 คือ เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย (3-6 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง)
- ระดับที่ 1 คือ เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย (น้อยกว่า 3 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง)

ตารางที่ 3-6 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O - Occurrence)

โอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง		**โอกาสเกิดความผิดพลาด**	**ระดับคะแนน**
สูงมาก	เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	>12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง	5
สูง	เกิดข้อบกพร่องบ่อย	9-12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง	4
ปานกลาง	เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	6-9 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง	3
ต่ำ	เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	3-6 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง	2
ต่ำมาก	เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่อง	< 3 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) เกณฑ์การประเมินระดับความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D - Detection) สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ แบ่งเป็น 5 ระดับ ดังนี้
   - ระดับที่ 5 คือ ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้
   - ระดับที่ 4 คือ พนักงานสามารถสุ่มตรวจสอบคุณภาพด้วยแว่นขยายเลนส์ขยายในการตรวจสอบ เช่น พลอยมีรอยแตกต้องใช้เครื่องมือแว่นขยายในการตรวจสอบ
   - ระดับที่ 3 คือ พนักงานสามารถสุ่มตรวจสอบคุณภาพด้วยได้ด้วยสายตา
   - ระดับที่ 2 คือ พนักงานตรวจสอบ 100% ด้วยแว่นขยาย เช่น การตรวจสอบทุกชิ้นต้องผ่าน
   - ระดับที่ 1 คือ พนักงานตรวจสอบ 100% ด้วยสายตา เช่น ชิ้นงานเทียนที่นำออกจากยางต้องตรวจสอบ 100% ด้วยสายตาทุกชิ้น

ตารางที่ 3-7 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D - Detection)

ผลกระทบ	แนวโน้มในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
สูงมาก	มาตรการควบคุมที่ใช้ ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	5
สูง	มาตรการควบคุมที่ใช้ ยังห่างไกลมากที่จะตรวจจับหรือตรวจสอบได้	4
ปานกลาง	มาตรการควบคุมที่ใช้ ตรวจจับหรือตรวจสอบได้พอสมควร	3
ต่ำ	มาตรการควบคุมที่ใช้ ตรวจจับหรือตรวจสอบได้เกือบแน่นอน	2
ต่ำมาก	มาตรการควบคุมที่ใช้ ตรวจจับหรือตรวจสอบได้แน่นอน	1

จากเกณฑ์การกำหนดเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยจากทั้ง 3 ประการ คือ การกำหนดระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S – Severity) ระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O – Occurrence) และระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D – Detection) ทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกกระบวนการประกอบ ทั้ง 10 คน ได้ร่วมกันระดมสมองในการหาสาเหตุของข้อบกพร่อง สามารถจัดทำเป็นตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ได้ดังนี้

ตารางที่ 3-8 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกระทบในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ										
ชื่อผลิตภัณฑ์ : สร้อยข้อมือสายหนัง		ผู้รับผิดชอบกระบวณการ : การผลิต (กระบวนการประกอบ)			ผู้จัดทำ : ฝ่ายควบคุมคุณภาพ วันเดือนปี (ทบทวนล่าสุด) : 10/11/63 กำหนดเสร็จ : 10/01/64				หมายเลข FMEA : PD-F-010 หน้า : 1 คณะทำงาน :ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต, ฝ่ายผลิต, ฝ่ายประกันคุณภาพ	
กระบวนการ / หน้าที่การทำงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่อง	S	สาเหตุหลักของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน	D	RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง	อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	ไม่มีการตรวจสอบอัตราส่วนกาว	5	ยังห่างไกลมากที่จะตรวจสอบ	5	100	- หามาตรฐานอัตราส่วนกาวให้เหมาะสม - จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ
	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานหยอดปริมาณกาวไม่เหมาะสม	5	ควบคุมด้วยเครื่องหยอดกาว	3	60	- หามาตรฐานปริมาณกาวให้เหมาะสม - จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ

ตารางที่ 3-8 (ต่อ) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกระทบในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ										
ชื่อผลิตภัณฑ์ : สร้อยข้อมือสายหนัง		ผู้รับผิดชอบกระบวณการ : การผลิต (กระบวนการประกอบ)			ผู้จัดทำ : ฝ่ายควบคุมคุณภาพ วันเดือนปี (ทบทวนล่าสุด) : 10/11/63 กำหนดเสร็จ : 10/01/64				หมายเลข FMEA : PD-F-010 หน้า : 2 คณะทำงาน :ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต, ฝ่ายผลิต, ฝ่ายประกันคุณภาพ	
กระบวนการ / หน้าที่การทำงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่อง	S	สาเหตุหลักของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน	D	RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง	ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานใช้หัวบีบไม่เหมาะสม	3	ไม่มี	4	48	- หามาตรฐานขนาดหัวบีบให้เหมาะสม - จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ
	กาวแห้ง ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานไม่มีการตรวจสอบคุณภาพของกาว	1	ตรวจสอบได้ด้วยตาได้เกือบแน่นอน	2	8	- จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ

ตารางที่ 3-8 (ต่อ) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

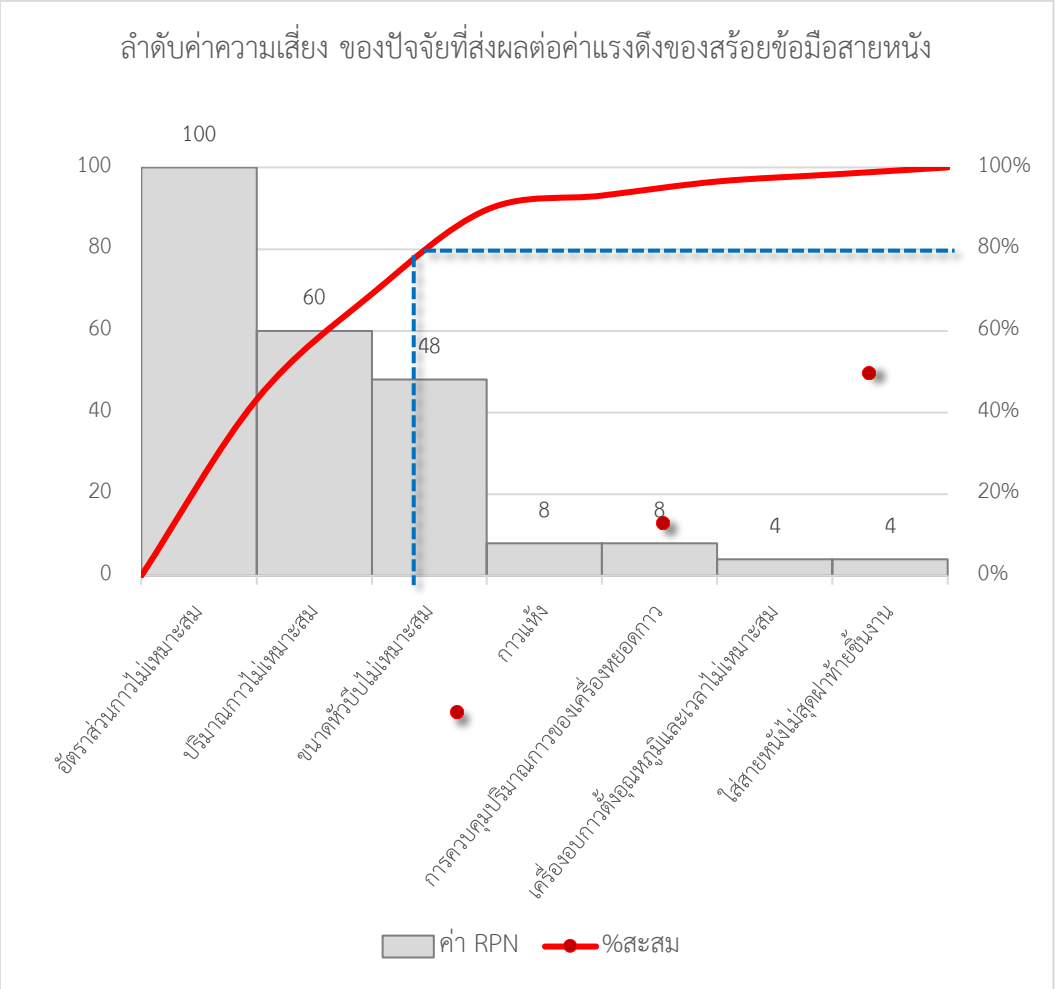
การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกระทบในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ										
ชื่อผลิตภัณฑ์ : สร้อยข้อมือสายหนัง		ผู้รับผิดชอบกระบวณการ : การผลิต (กระบวนการประกอบ)			ผู้จัดทำ : ฝ่ายควบคุมคุณภาพ วันเดือนปี (ทบทวนล่าสุด) : 10/11/63 กำหนดเสร็จ : 10/01/64				หมายเลข FMEA : PD-F-010 หน้า : 3 คณะทำงาน :ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต, ฝ่ายผลิต, ฝ่ายประกันคุณภาพ	
กระบวนการ / หน้าที่การทำงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่อง	S	สาเหตุหลักของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน	D	RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง	เครื่องอบกาวตั้งอุณหภูมิและเวลาไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน	1	มีคู่มือการปฏิบัติงาน	1	4	- จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ
	การควบคุมปริมาณกาวของเครื่องหยอดกาวไม่ถูกต้อง ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน	1	การควบคุมตรวจสอบได้เกือบแน่นอน	2	8	- จัดทำมาตรฐานการตั้งค่าเครื่องหยอดกาวเมื่อได้ค่าที่เหมาะสม	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ

ตารางที่ 3-8 (ต่อ) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกระทบในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ										
ชื่อผลิตภัณฑ์ : สร้อยข้อมือสายหนัง		ผู้รับผิดชอบกระบวณการ : การผลิต (กระบวนการประกอบ)			ผู้จัดทำ : ฝ่ายควบคุมคุณภาพ วันเดือนปี (ทบทวนล่าสุด) : 10/11/63 กำหนดเสร็จ : 10/01/64				หมายเลข FMEA : PD-F-010 หน้า : 4 คณะทำงาน :ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต, ฝ่ายผลิต, ฝ่ายประกันคุณภาพ	
กระบวนการ / หน้าที่การทำงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่อง	S	สาเหตุหลักของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน	D	RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง	ใส่สายหนังไม่สุดฝาท้ายชิ้นงาน ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน	1	มาตรการควบคุมที่ใช้ตรวจสอบได้แน่นอน	1	4	- จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ

ตารางที่ 3-9 เรียงลำดับค่าความเสี่ยง ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

เรียงลำดับ	ปัจจัย	S	O	D	RPN
1	อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม	4	5	5	100
2	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม	4	5	3	60
3	ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม	4	3	4	48
4	กาวแห้ง	4	1	2	8
5	การควบคุมปริมาณกาวของเครื่องหยอดกาว	4	1	2	8
6	เครื่องอบกาวตั้งอุณหภูมิและเวลาไม่เหมาะสม	4	1	1	4
7	ใส่สายหนังไม่สุดฝาท้ายชิ้นงาน	4	1	1	4



รูปที่ 3-14 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับค่าความเสี่ยง
ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

จากการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งนำมาจัดเรียงตามลำดับคะแนนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่าปัจจัยที่มีค่าความเสี่ยงสูงโดดเด่นที่สุด ที่มีสัดส่วนน้ำหนัก 80% ซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเป็นอย่างมาก มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม และปริมาณกาวไม่เหมาะสม จึงได้ทำการสรุปค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ได้ทำการคัดเลือกมา 3 ลำดับแรก ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-10 ปัจจัยที่ทำการคัดเลือก 3 ลำดับแรกตามค่าความเสี่ยง

ลำดับ	ปัจจัย	ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN)
1	อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม	100
2	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม	60
3	ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม	48

จากค่าความเสี่ยง 3 ลำดับแรก พบว่ามีค่าความเสี่ยงที่สูง ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงทำการเลือกปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ ในการทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังและปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมระดับของปัจจัยได้โดยไม่ส่งผลต่อต้นทุนและการดำเนินงานของหน้างานปกติ โดยที่ต้นทุนปริมาณกาวในปัจจุบันเทียบกับราคาสินค้า คิดเป็น 0.0015% จึงเป็นที่มาของการศึกษางานวิจัยเพื่อเพิ่มค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยการทดลองหาค่าระดับปัจจัย

3.2 กำหนดปัจจัย (Factors Identification)

จากการคัดกรอง ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงข้างต้น จะเห็นได้ว่าสาเหตุมาจากค่าปัจจัยในการประกอบที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังน้อยกว่าที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีค่าปัจจัยที่เหมาะสม ที่จะทำให้สร้อยข้อมือสายหนังมีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นตรงตามเป้าหมาย ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยสามารถทำการสรุปปัจจัยที่ส่งผลได้ดังนี้ คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล), ปริมาณกาว (กรัม), ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)

3.3 ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ทางผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อให้สร้อยข้อมือสายหนังมีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นตรงตามเป้าหมาย ซึ่งมีข้อกำหนดในการออกแบบ ดังนี้

3.3.1 กำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

โดยการทดลองนี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ดังนี้

ตารางที่ 3-11 ปัจจัยและค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
	ต่ำ	กลาง	สูง	
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	1 : 1	1 : 0.8	1 : 0.6	โดยมวล
ปริมาณกาว	4	8	12	มิลลิกรัม
ขนาดหัวบีบ	2.7	2.8	2.9	มิลลิเมตร

จากตาราง ปัจจัยและค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง อธิบายการเลือกปัจจัยแต่ละปัจจัยเพื่อนำมาทำการทดลอง ได้ดังนี้

1. อัตราส่วนกาว Resin : Hardener

   อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ในหน่วย โดยมวล ซึ่งมาตรฐานในการผลิตปัจจุบันกำหนดอัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 1 โดยมวล เมื่อศึกษาคู่มือของผู้ผลิตกาว พบว่ามีการแนะนำอัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่เหมาะสม เท่ากับ 1 : 0.8 โดยมวล โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ก จากคุณสมบัติ Resin มีคุณสมบัติในเรื่องค่าแรงดึง และ Hardener คุณสมบัติในเรื่องของการแข็งตัวของกาว ดังนั้นทางทีมจึงตั้งสมมติฐานว่าเมื่อความเข้มข้นของกาว Resin เพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลให้ ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเพิ่มขึ้นเช่นกัน จึงสรุปร่วมกันกำหนดอัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 0.6 โดยมวล เนื่องจากมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นต่อเนื่องอย่างเป็นระบบ กับระดับปัจจัยต่ำและกลาง

   ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับดังนี้

   ระดับ ต่ำ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 1 โดยมวล

   ระดับ กลาง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 0.8 โดยมวล

   ระดับ สูง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 0.6 โดยมวล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. ปริมาณกาว (กรัม)

มาตรฐานในการผลิตปัจจุบันกำหนดปริมาณในการยอดกาว เท่ากับ 8 มิลลิกรัม เมื่อศึกษาข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy ที่ใช้ โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ก แนะนำค่าความหนาของกาว อยู่ที่ 0.05 ถึง 0.10 มิลลิเมตร ดังนั้นในการคำนวณ จึงใช้ค่าเฉลี่ยความหนาของกาว เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร ในการคำนวณหาปริมาณกาว เมื่อกาวมีความหนา เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร โดยใช้สมการในการคำนวณ ดังนี้

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2L - d^2l) \qquad \text{สมการที่ 3-1}$$

โดยที่ A ปริมาตรช่องว่างคงเหลือภายในฝาท้ายชิ้นงาน หลังหักขนาดส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก

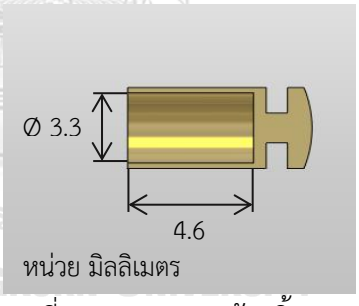
π ค่าคงตัวทางคณิตศาสตร์ มีค่าประมาณ 3.14

D เส้นผ่าศูนย์กลางของฝาท้ายชิ้นงาน

L ความยาวภายในของฝาท้ายชิ้นงาน

d เส้นผ่าศูนย์กลางของส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก

l ความยาวภายนอกของส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก

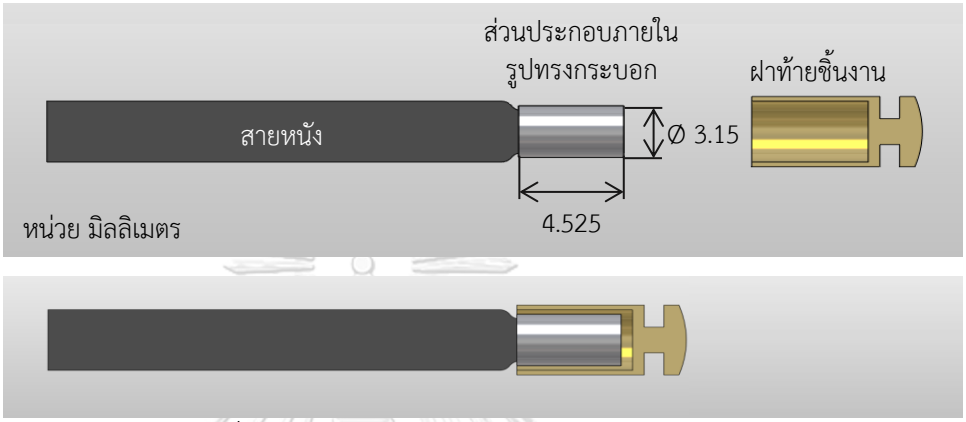


รูปที่ 3-15 ขนาดฝาท้ายชิ้นงาน

จากขนาดฝาท้ายชิ้นงาน เมื่อความหนาของกาวอยู่เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร ดังนั้น ขนาดของส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก ที่นำมาประกอบเข้ากับฝาท้ายชิ้นงาน เพื่อให้ความหนาของกาว เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร มีขนาดดังนี้

เส้นผ่าศูนย์กลาง (d) = 3.3 – (0.075x2) = 3.15 ; มิลลิเมตร

ความยาวภายนอก (l) = 4.6 – 0.075 = 4.525 ; มิลลิเมตร



รูปที่ 3-16 ขนาดส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก
เมื่อความหนาของกาวอยู่เท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร

ซึ่งคำนวณเป็นปริมาณกาวที่ความหนา 0.075 มิลลิเมตร ได้ดังนี้

แทนค่า สมการที่ 3-1

A = $\frac{\pi}{4}$ [(3.3^2 x 4.6) – (3.15^2 x 4.525)] ; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

A = 4.080 ; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

A = 0.004 ; มิลลิลิตร

กำหนดใช้ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, ca.) = 1.07 ในการคำนวณ เนื่องจากเป็นการผสมกาว โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ก

ปริมาณกาว = 0.004 x 1.07

ปริมาณกาว = 0.0043 ; กรัม

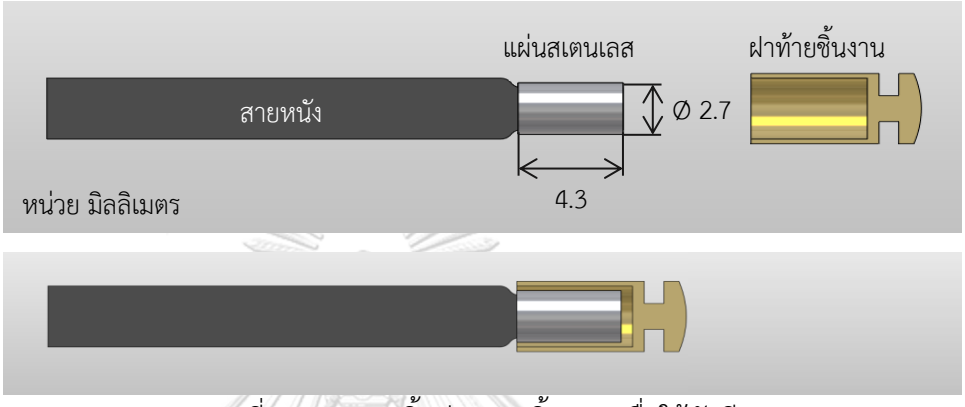
ปริมาณกาว = 4.365 ; มิลลิกรัม

ปริมาณกาว ≈ 4 ; มิลลิกรัม

ดังนั้น จากการคำนวณโดยประมาณกาวที่ความหนา 0.075 มิลลิเมตร มีค่าประมาณ 4 มิลลิกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการบีบแผ่นสเตนเลส ด้วยหัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 มิลลิเมตร, 2.8 มิลลิเมตร และ 2.9 มิลลิเมตร ส่งผลต่อปริมาตรช่องว่างคงเหลือภายในฝาท้ายชิ้นงาน จึงนำมาคำนวณหาปริมาณกาวที่หยอดได้ เพื่อนำมากำหนดเป็นระดับปัจจัยในการทดลอง โดยที่ส่วนประกอบภายในรูปทรงกระบอก คือ ขนาดของหัวบีบปลายสเตนเลส แสดงดังรูป



รูปที่ 3-17 ขนาดชิ้นส่วนของชิ้นงาน เมื่อใช้หัวบีบ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร

การบีบแผ่นสเตนเลส ที่หัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร

แทนค่า สมการที่ 3-1

$A = \frac{\pi}{4}[(3.3^2 \times 4.6) - (2.7^2 \times 4.3)]$; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

$A = 14.724$; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

$A = 0.015$; มิลลิลิตร

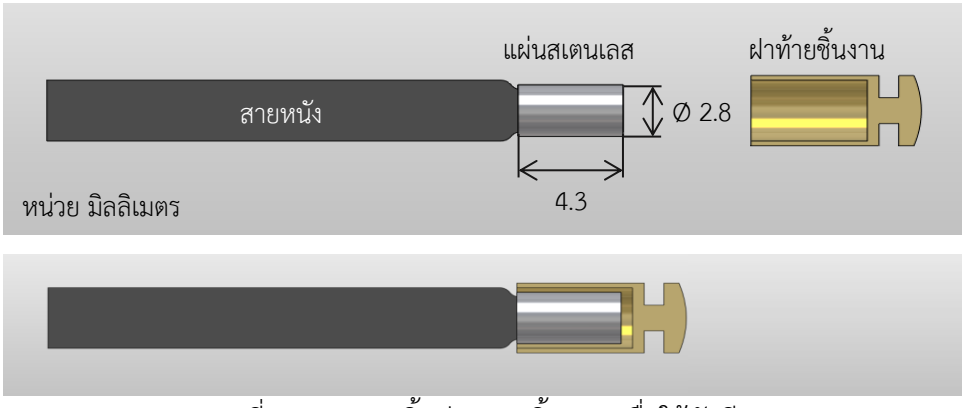
กำหนดใช้ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, ca.) = 1.07 ในการคำนวณ เนื่องจากเป็นการผสมกาว โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ก

ปริมาณกาว = 0.015 x 1.07

ปริมาณกาว = 0.016 ; กรัม

ปริมาณกาว = 15.755 ; มิลลิกรัม

ปริมาณกาว ≈ 16 ; มิลลิกรัม



รูปที่ 3-18 ขนาดชิ้นส่วนของชิ้นงาน เมื่อใช้หัวบีบ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.8 มิลลิเมตร

การบีบแผ่นสเตนเลส ที่หัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.8 มิลลิเมตร

แทนค่า สมการที่ 3-1

$A = \frac{\pi}{4}[(3.3^2 \times 4.6) - (2.8^2 \times 4.3)]$; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

$A = 12.886$; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

$A = 0.013$; มิลลิลิตร

กำหนดใช้ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, ca.) = 1.07 ในการคำนวณ เนื่องจากเป็นการผสมกาว โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ก

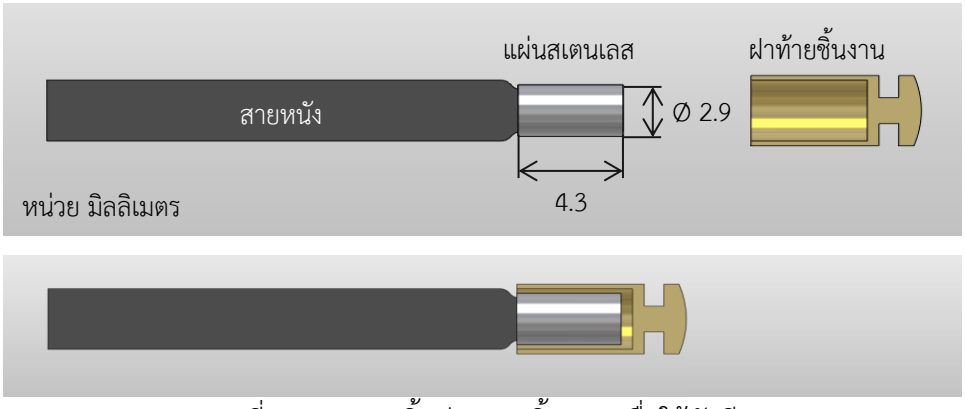
ปริมาณกาว = 0.013 x 1.07

ปริมาณกาว = 0.0124 ; กรัม

ปริมาณกาว = 13.767 ; มิลลิกรัม

ปริมาณกาว ≈ 14 ; มิลลิกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-19 ขนาดชิ้นส่วนของชิ้นงาน เมื่อใช้หัวบีบ
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร

การบีบแผ่นสเตนเลส ที่หัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร

แทนค่า สมการที่ 3-1

$A = \frac{\pi}{4}[(3.3^2 \times 4.6) - (2.9^2 \times 4.3)]$; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

$A = 10.941$; ลูกบาศก์มิลลิเมตร

$A = 0.011$; มิลลิลิตร

กำหนดใช้ ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity, ca.) = 1.07 ในการคำนวณเนื่องจากเป็นการผสมกาว โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ก

ปริมาณกาว = 0.011 x 1.07

ปริมาณกาว = 0.012 ; กรัม

ปริมาณกาว = 11.707 ; มิลลิกรัม

ปริมาณกาว ≈ 12 ; มิลลิกรัม

จากการคำนวณปริมาณกาวที่หยอดได้ เมื่อทำการบีบแผ่นสเตนเลส ด้วยหัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 มิลลิเมตร, 2.8 มิลลิเมตร และ 2.9 มิลลิเมตร ปริมาณกาวที่หยอดได้โดยประมาณ คือ 16 มิลลิกรัม, 14 มิลลิกรัม และ 12 มิลลิกรัม ตามลำดับ โดยการกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง ยอมให้ปริมาณกาวน้อย คือ ไม่เต็มปริมาตรช่องว่างคงเหลือภายในฝาท้ายชิ้นงานหลังหักขนาดหัวบีบปลายสเตนเลสรูปทรงกระบอก แต่ไม่ยอมให้ปริมาณกาวล้น เนื่องจากการเกิดกาวล้น ถือเป็นอาการงานเสียที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นในการทดลองจึงทำการเลือกระดับปัจจัย จากการคำนวณปริมาณกาวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่ส่งผลให้ปริมาตรช่องว่างน้อยที่สุดในการหยอดกาว ปริมาณกาวที่หยอดได้โดยประมาณ เท่ากับ 12 มิลลิกรัม นำมากำหนดเป็นปริมาณกาวที่มากที่สุดในการทดลองที่สามารถหยอดได้ โดยที่ไม่ทำให้เกิดกาวล้น

โดยการทดลองหยอดกาวและคำนวณโดยประมาณ เพื่อให้สอดคล้องกับเครื่องหยอดกาวที่สามารถหยอดได้ ซึ่งอัตราส่วนน้ำหนักกาวต่อเวลา คือ 4 มิลลิกรัม /1 วินาที ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับ ต่ำ ปริมาณกาวในการหยอดกาว เท่ากับ 4 มิลลิกรัม

ระดับ กลาง ปริมาณกาวในการหยอดกาว เท่ากับ 8 มิลลิกรัม

ระดับ สูง ปริมาณกาวในการหยอดกาว เท่ากับ 12 มิลลิกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3. ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)

ขนาดหัวบีบ จะเป็นหัวบีบในการบีบขั้นตอนสุดท้าย เป็นการย้ำประกอบแผ่นสเตนเลสเข้ากับสายหนัง ให้ยึดแน่นติดเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นจุดเชื่อมาต่อในการทากาว ที่เริ่มจากการบีบอะไหล่ที่เป็นแผ่นสเตนเลสเข้ากับสายหนัง โดยใช้คีมบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร จากนั้นย้ำด้วยเครื่องตอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการบีบด้วยเครื่องบีบ ซึ่งมาตรฐานในการผลิตปัจจุบันกำหนดขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.8 มิลลิเมตร โดยได้มีการทดลองบีบด้วยเครื่องบีบ ด้วยขนาดหัวบีบที่เล็กที่สุดที่จะไม่ทำให้แผ่นสเตนเลส บีบรัดสายหนังจนเกิดการฉีกหรือขาด เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร และทดลองทำการบีบด้วยเครื่องบีบที่ใหญ่ที่สุดที่จะไม่ทำให้แผ่นสเตนเลส หลุดและเมื่อบีบเสร็จ สามารถใส่กับฝาท้ายชิ้นงานได้ ซึ่งขนาดหัวบีบที่ใหญ่ที่สุด เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร

ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับ ต่ำ ขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร

ระดับ กลาง ขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.8 มิลลิเมตร

ระดับ สูง ขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 กำหนดขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

การกำหนดตัวอย่างในการทดลองของงานวิจัยนี้ ใช้ขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย โดยมีองค์ประกอบในการกำหนดขนาดจำนวนสิ่งตัวอย่าง ดังนี้

ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) คือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานหลัก โดยสมมติฐานหลักมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง หากตั้งระดับความเชื่อมั่นสูง (α = 0.05) ขนาดตัวอย่างที่คำนวณได้จะมากขึ้น

ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) คือ ความผิดพลาดที่เกิดจากการยอมรับสมมติฐานหลัก โดยที่สมมติฐานหลักมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง หากต้องการให้มีอำนาจการทดสอบสูง (β น้อย) ขนาดตัวอย่างที่ใช้ต้องมาก

ดังนั้นทางโรงงานกรณีศึกษา จึงได้กำหนดค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ เพื่อตัดสินใจปฏิเสธหรือไม่ปฏิเสธสมมติฐานที่ระดับร้อยละ 5 และ ค่าอำนาจจำแนกความแตกต่างที่ระดับร้อยละ 90

1. α คือระดับความเสี่ยงที่จะสรุปผิด ต้องจำกัดความเสี่ยงนี้ให้น้อยที่สุด โดยมาตรฐานจะอยู่ที่ 5% ดังนั้นกำหนด α = 0.05
2. ช่วงเชื่อความเชื่อมั่นที่ใช้ในการประมาณค่าขนาดตัวอย่างคือ 95%
   จะได้ว่า $Z\alpha_{/2}$ = $Z_{0.05/2}$ = $Z_{0.025}$ = 1.96
3. อำนาจการทดสอบ (Power of test) ที่ 90% ขึ้นไป จาก Power of the test = 1- β คำนวณได้ β = 10% ซึ่ง β คือระดับความเสี่ยงที่จะสรุปข้อมูลของสองประชากรนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้น β = 0.1 จะได้ว่า $Z_{0.1}$ = 1.28
4. σ คือค่าความแปรปรวนของกระบวนการที่เป็นอยู่ขณะนี้ จะได้ว่า σ = 1.767
5. Δ_0 คือค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงชิ้นงานในปัจจุบัน นั่นคือ Δ_0 = 70.30
6. Δ คือค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงชิ้นงานเป้าหมาย นั่นคือ Δ = 78
7. $\Delta - \Delta_0$ คือระดับความแตกต่างของทั้งสองข้อมูล เช่น ความแตกต่างของค่าเฉลี่ย ดังนั้น $\Delta - \Delta_0$ = 78 - 70.30 = 7.7

ตารางที่ 3-12 ข้อมูลกราฟ Process Capability Sixpack Report ค่าแรงดึงของชิ้นงานในการทดสอบ (ปัจจุบัน)

ข้อมูล	จำนวนข้อมูล	ความแปรปรวน	ค่าเฉลี่ย
ชิ้นงานในการทดสอบ (ปัจจุบัน)	30	1.767	70.30

วิเคราะห์การคำนวณขนาดตัวอย่าง (Douglas C. Montgomery, 2012)

$$n = \frac{2\sigma^2\left(Z_{\alpha/2}+Z_{\beta}\right)^2}{(\Delta-\Delta_0)^2}$$ สมการที่ 3-2

$$n = \frac{2(1.767^2)(1.96+1.28)^2}{(78-70.30)^2}$$

$$n = \frac{65.55}{59.29}$$

$$n = 1.11 \approx 2 \text{ ชิ้น}$$

ดังนั้นสรุปได้ว่าในการทดลอง ตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐาน (Sample size) จำนวน 2 ชิ้น เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่จะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือตามที่กำหนด ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการตกลงกับทีมโดยจะใช้ขนาดตัวอย่างในการทดลองที่ 10 ชิ้น เนื่องการเพิ่มขนาดของกลุ่มตัวอย่าง มีส่วนช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนประเภทที่ 1 และ 2 ลงได้

3.3.3 กำหนดการทดลอง

โดยการทดลองจะเป็นการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial design) จำนวน 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล), ปริมาณกาว (มิลลิกรัม) และขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร) ปัจจัยละ 3 ระดับ ($3^3 = 27$) ทำซ้ำ (Replicate) 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองจะต้องทำการทดลองครั้งละ 10 ชิ้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละการทดลอง ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-13 ลำดับการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)
1	3	1 : 1	4	2.7
2	9	1 : 1	4	2.7
3	42	1 : 1	4	2.8
4	51	1 : 1	4	2.8
5	24	1 : 1	4	2.9
6	45	1 : 1	4	2.9
7	29	1 : 1	8	2.7
8	53	1 : 1	8	2.7

ตารางที่ 3-13 (ต่อ) ลำดับการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)
9	22	1 : 1	8	2.8
10	30	1 : 1	8	2.8
11	28	1 : 1	8	2.9
12	47	1 : 1	8	2.9
13	37	1 : 1	12	2.7
14	38	1 : 1	12	2.7
15	11	1 : 1	12	2.8
16	34	1 : 1	12	2.8
17	13	1 : 1	12	2.9
18	44	1 : 1	12	2.9
19	17	1 : 0.8	4	2.7
20	35	1 : 0.8	4	2.7
21	8	1 : 0.8	4	2.8
22	40	1 : 0.8	4	2.8
23	15	1 : 0.8	4	2.9
24	25	1 : 0.8	4	2.9
25	26	1 : 0.8	8	2.7
26	33	1 : 0.8	8	2.7
27	7	1 : 0.8	8	2.8
28	21	1 : 0.8	8	2.8
29	32	1 : 0.8	8	2.9
30	52	1 : 0.8	8	2.9
31	20	1 : 0.8	12	2.7
32	39	1 : 0.8	12	2.7
33	43	1 : 0.8	12	2.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3-13 (ต่อ) ลำดับการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)
34	54	1 : 0.8	12	2.8
35	36	1 : 0.8	12	2.9
36	49	1 : 0.8	12	2.9
37	16	1 : 0.6	4	2.7
38	18	1 : 0.6	4	2.7
39	2	1 : 0.6	4	2.8
40	10	1 : 0.6	4	2.8
41	5	1 : 0.6	4	2.9
42	46	1 : 0.6	4	2.9
43	6	1 : 0.6	8	2.7
44	23	1 : 0.6	8	2.7
45	19	1 : 0.6	8	2.8
46	31	1 : 0.6	8	2.8
47	14	1 : 0.6	8	2.9
48	27	1 : 0.6	8	2.9
49	4	1 : 0.6	12	2.7
50	41	1 : 0.6	12	2.7
51	12	1 : 0.6	12	2.8
52	48	1 : 0.6	12	2.8
53	1	1 : 0.6	12	2.9
54	50	1 : 0.6	12	2.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4 ขั้นการทดลอง

3.4.1 ขั้นตอนการประกอบชิ้นงาน

กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง ในขั้นตอนกระบวนการประกอบ มีขั้นตอนการผลิตย่อย 3 ขั้นตอน คือ 1. Crimping (บีบประกอบ) 2. Adhesive (หยอดกาว) 3. Cure (อบกาว) ซึ่งแต่ละขั้นตอนอ้างอิงดังรูปที่ 1-12 ขั้นตอนกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

1) Crimping (บีบประกอบ)

ขั้นตอนย่อยนี้ เป็นขั้นตอนการประกอบอะไหล่ที่เป็นแผ่นสเตนเลส เข้ากับสายหนังโดยใช้คีมบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร ทำการบีบ 3 ครั้ง เพื่อให้อะไหล่ที่เป็นแผ่นสเตนเลส ล็อกเข้ากับสายหนัง แล้วทำการย้ำด้วยเครื่องตอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร

รูปที่ 3-20 แผ่นสเตนเลส

รูปที่ 3-21 สายหนัง

รูปที่ 3-22 คีมบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

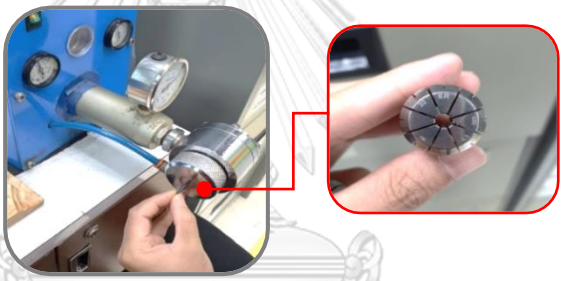
รูปที่ 3-23 เครื่องตอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.00 มิลลิเมตร

จากนั้นนำเข้าเครื่องบีบ โดยในการทดของนี้แบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับ ต่ำ ขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.7 มิลลิเมตร

ระดับ กลาง ขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.8 มิลลิเมตร

ระดับ สูง ขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 2.9 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-24 เครื่องบีบ

2) Adhesive (หยอดกาว)

ขั้นตอนย่อยนี้ เป็นขั้นตอนการหยอดกาวในรูของฝาท้ายชิ้นงาน และประกอบเข้ากับสายหนังที่ทำการบีบประกอบแผ่นสเตนเลสเรียบร้อย

โดยมีการผสมกาว อัตราส่วนของกาว Resin (สีขาว) ต่อ Hardener (สีฟ้า) โดยมวล ซึ่งการผสมกาวห้ามผสมกาวทิ้งไว้เกิน 20 นาที/ต่อครั้ง และครั้งละไม่เกิน 10 กรัม ควบคุมด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลสำหรับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงแบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับดังนี้

ระดับ ต่ำ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 1 โดยมวล

ระดับ กลาง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 0.8 โดยมวล

ระดับ สูง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 0.6 โดยมวล

รูปที่ 3-25 กาว Resin (สีขาว) และ กาว Hardener (สีฟ้า)

รูปที่ 3-26 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลสำหรับห้องปฏิบัติการ

จากนั้นนำกาวใส่หลอดเข็ม มีการควบคุมปริมาณการหยอดกาวโดยการตั้งค่าเครื่องหยอดกาวที่ความดัน (Pressure) 0.25 เมกะปาสคาล ซึ่งอัตราส่วนน้ำหนักกาวต่อเวลา คือ 4 มิลลิกรัม/1 วินาที แล้วทำการหยอดกาว ใส่ฝาท้ายชิ้นงาน โดยในการทดลองนี้ แบ่งระดับปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับ ต่ำ ปริมาณกาวในการหยอด เท่ากับ 4 มิลลิกรัม

ระดับ กลาง ปริมาณกาวในการหยอด เท่ากับ 8 มิลลิกรัม

ระดับ สูง ปริมาณกาวในการหยอด เท่ากับ 12 มิลลิกรัม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-27 เครื่องหยอดกาวและหลอดเข็ม

รูปที่ 3-28 ฝาท้ายชิ้นงาน

3) Cure (อบกาว)

ขั้นตอนย่อยนี้ เป็นขั้นตอนการพักกาวเพื่อให้กาวแข็งตัว โดยนำชิ้นงานเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ 55±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

รูปที่ 3-29 เครื่องอบ

3.4.2 วิธีการทดสอบแรงดึงของชิ้นงาน

โดยมีขั้นตอนในการทดสอบค่าแรงดึง ตามมาตฐานในการทดสอบค่าแรงของโรงงานกรณีศึกษา 4 ขั้นตอน คือ 1. สอบเทียบเครื่องวัด 2. ใส่ชิ้นงานเข้าเครื่อง 3. ตั้งค่าเครื่อง และ 4. ทดสอบแรงดึง ซึ่งแต่ละขั้นตอนอ้างอิงดังรูปที่ 3-2 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง

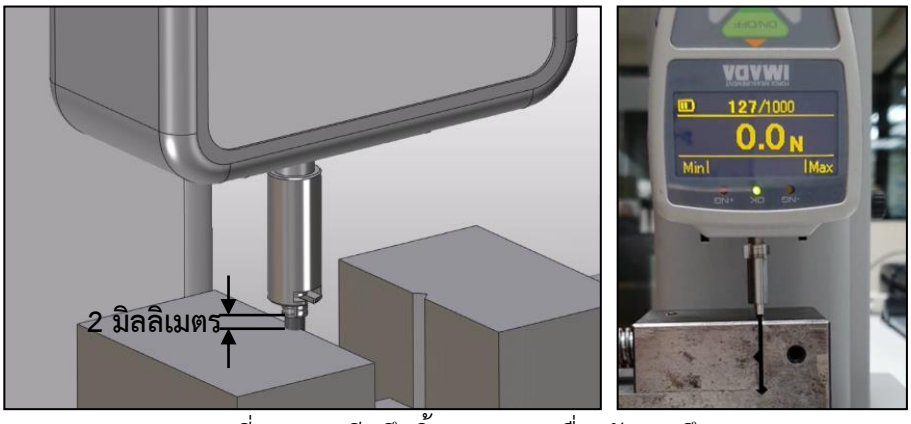
1) สอบเทียบเครื่องวัด

ก่อนนำเครื่องมือวัดไปทดสอบวัดค่าแรงดึงของชิ้นงาน เนื่องด้วยหากเครื่องวัดค่าแรงดึงเกิดความคลาดเคลื่อนนอกจากทำให้ระบบการวัดผลไม่ได้คุณภาพแล้ว อาจทำให้เกิดการตัดสินในผิดพลาดในการแก้ปัญหาก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าการวัดค่านั้นจะให้ผลที่มีความถูกต้องและความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น ดังนั้นการสอบเทียบเครื่องมือวัดจึงเป็นเรื่องที่ควรให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก

ทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Weight) ในการสอบเทียบ ตามมาตรฐาน International Organization of Legal Metrology, OIML ระดับชั้น E2 หมายความว่าตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Weight) ขนาด 1 กิโลกรัม (kg) จะมีค่าความคาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (Maximum permissible errors, MPE) ไม่เกิน 1.6 มิลลิกรัม (mg)

2) ใส่ชิ้นงานเข้าเครื่อง

ใส่ชิ้นงานที่เครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) โดยส่วนบนทำการใส่ฝาท้ายชิ้นงานเข้ากับจิ๊ก (Jig) สำหรับล็อคฝาท้ายชิ้นงาน จากนั้นกดเครื่องลงเพื่อให้ปากกาจับชิ้นงานทำการหนีบยึดชิ้นงาน โดยระยะระหว่างปากกาจับชิ้นงานและส่วนปลายของฝาท้ายชิ้นงานจะมีระยะห่างประมาณ 2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3-30 หนีบยึดชิ้นงานของเครื่องวัดแรงดึง

3) ตั้งค่าเครื่อง

ตั้งค่าเครื่องวัดแรงดึง โดยกำหนดพารามิเตอร์ความเร็ว 300 มิลลิเมตร/นาที ก่อนวัดแรงดึงทำการกดปุ่มตั้งศูนย์

4) ทดสอบแรงดึง

กดปุ่มเพื่อทดสอบแรงดึง เครื่องจะโชว์ค่าสูงสุดที่ดึงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)

เมื่อผู้วิจัยทำการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมและได้ผลการทดลองค่าของแรงดึงในแต่ละระดับปัจจัยแล้ว จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ดังนี้

3.5.1 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยจะตรวจสอบรูปแบบของข้อมูล 3 หัวข้อดังนี้

1) การตรวจสอบการแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง

ซึ่งเป็นการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยจะนำค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ของค่าตัวแปรตอบสนองมาพิจารณา ว่ามีการแจกแจงตัวลักษณะแบบใดโดยการพล๊อตกราฟ หากกราฟมีการแจกแจงแบบปกติ กราฟควรจะมีการกระจายตัวลักษณะเป็นเส้นตรง และทดสอบความเป็นปกติ โดยค่า P-Value จะต้องมีค่ามากกว่า 0.05

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระนั้น จะพิจารณาความสัมพันธ์จากแผนภาพ เพื่อดูการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) ซึ่งการพิจารณานั้น ข้อมูลควรมีการกระจายแบบไม่เป็นรูปร่าง ไม่เป็นรูปแบบที่ชัดเจน และไม่มีแนวโน้มจึงจะเป็นการบ่งบอกว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

3) การตรวจสอบความเสถียร

การทดสอบความเสถียรของค่าความแปรปรวน สามารถทำได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residuals) กับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งหากข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนแล้วในแผนภาพการกระจายข้อมูลที่เป็นแนวโน้มต้องไม่มีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่ชัดเจน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5.2 การทดสอบสมมติฐาน

วิเคราะห์ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก “อิทธิพลหลัก (Main Effect)”

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม “อันตรกิริยา (Interaction Effect)”

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

3.5.3 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังในหน่วยนิวตัน ที่ได้จากการวัดผลโดยเครื่องวัดแรงดึง (Force Gauge) และบันทึกข้อมูลลงในใบรายงานผลการทดสอบประสิทธิภาพในแต่ละการทดลอง

3.5.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกระบวนการ

เมื่อได้ผลการทดลองครบถ้วนจากการทำการทดลองแบบ 3^k แฟกทอเรียล แล้วจึงนำผลการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) และสรุปผล ซึ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้ใช้วิธีการสถิติเชิงวิศวกรรมเพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปจากการทดลอง ซึ่งจะทำให้ได้ข้อสรุปว่าความสัมพันธ์ของกระบวนการเป็นเชิงเส้นตรงหรือเชิงเส้นโค้ง โดยพิจารณา ดังนี้

1) หากความสัมพันธ์ของกระบวนการเป็นเชิงเส้นตรง จะทำการหาค่าที่ดีที่สุด เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยโดยใช้การวิเคราะห์จากผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design)
2) หากความสัมพันธ์ของกระบวนการเป็นเชิงเส้นโค้ง จะทำการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง

3.5.5 ผลการทดลองและหาสภาวะที่เหมาะสม (Respond Optimizer)

หลังจากทำการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงทดลองการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial design) จำนวน 3 ปัจจัย ($3^3 = 27$) ทำซ้ำ (Replicate) 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง การทดลองละ 10 ตัวอย่างแล้ว ผลการทดลองทั้งหมด จะถูกนำไปวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติวิทยา เพื่อให้ได้ผลการทดลองและข้อสรุปของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยค่าแรงดึงเป้าหมายคือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ทำการวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิค Respond Optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

3.5.6 ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

ผู้วิจัยจะนำผลที่ได้จากการการวิเคราะห์โดยอาศัยเทคนิค Respond Optimize ปัจจัยในระดับเหมาะสม ไปใช้ในกระบวนการทำงานจริง เพื่อตรวจสอบว่าผลที่วิเคราะห์ได้นั้น ส่งผลให้ค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง มีค่าแรงดึงเป้าหมายคือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน จริงหรือไม่ เป็นไปตามทฤษฎีที่สมมติฐานหรือไม่ มีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลให้ค่าแรงดึงเพิ่มขึ้น จึงนำผลที่ได้ไปสรุปพร้อมทั้งเสนอแนะเพิ่มเติมจากการทำวิจัย

3.6 สรุปผล (Conclusion)

ค้นหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังจากการระดมความคิดและวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram) โดยผู้ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องประดับซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานด้านนี้โดยตรงและนำปัจจัยที่ได้ไปศึกษาต่อโดยการให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) และจึงได้นำปัจจัยที่เหลืออยู่ทั้ง 3 ปัจจัยนี้ ไปทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นการแสดงถึงลำดับขั้นตอนในงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้งานวิจัยมีขั้นตอนและระบบ มีความถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.6.1 เงื่อนไขในการสรุปผล

ในกรณีที่การทดลองพบว่าได้ค่าแรงดึงมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน มีมากกว่า 1 ลำดับการทดลองของระดับปัจจัย ทางทีมใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการลดของเสียโดยการปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยเรียงระดับการตัดสินใจ ตามหัวข้อดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของแรงดึงเข้าใกล้เป้าหมายด้านค่าแรงที่มากที่สุด
2. ระดับความผันแปรของกระบวนการที่น้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Respond Optimizer) ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยสายหนัง คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล), ปริมาณกาว (มิลลิกรัม) และขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร) เพื่อพิจารณาเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยพารามิเตอร์นั้นให้ค่าแรงดึงตรงตามเป้าหมาย คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน

4.1 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ทำซ้ำ (Replicate) 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง การทดลองละ 10 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาปัจจัยมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล), ปริมาณกาว (มิลลิกรัม) และขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร) ซึ่งมีผลการทดลองปรากฏในช่องของ ค่าแรงดึง (นิวตัน) ดังตารางที่ 4-1 และรายละเอียดของข้อมูลแนบในภาคผนวก ข ตารางที่ ข2 ถึง ตารางที่ ข4

ตารางที่ 4-1 ผลการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	3	1 : 1	4	2.7	53.08
2	9	1 : 1	4	2.7	52.60
3	42	1 : 1	4	2.8	39.22
4	51	1 : 1	4	2.8	39.11
5	24	1 : 1	4	2.9	37.95
6	45	1 : 1	4	2.9	35.37
7	29	1 : 1	8	2.7	82.26
8	53	1 : 1	8	2.7	81.99
9	22	1 : 1	8	2.8	70.12

ตารางที่ 4-1 (ต่อ) ผลการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
10	30	1 : 1	8	2.8	69.65
11	28	1 : 1	8	2.9	66.30
12	47	1 : 1	8	2.9	65.18
13	37	1 : 1	12	2.7	89.16
14	38	1 : 1	12	2.7	88.29
15	11	1 : 1	12	2.8	71.12
16	34	1 : 1	12	2.8	70.65
17	13	1 : 1	12	2.9	67.30
18	44	1 : 1	12	2.9	66.18
19	17	1 : 0.8	4	2.7	71.11
20	35	1 : 0.8	4	2.7	70.06
21	8	1 : 0.8	4	2.8	58.80
22	40	1 : 0.8	4	2.8	59.01
23	15	1 : 0.8	4	2.9	55.65
24	25	1 : 0.8	4	2.9	53.65
25	26	1 : 0.8	8	2.7	88.19
26	33	1 : 0.8	8	2.7	87.45
27	7	1 : 0.8	8	2.8	75.44
28	21	1 : 0.8	8	2.8	74.92
29	32	1 : 0.8	8	2.9	71.18
30	52	1 : 0.8	8	2.9	69.54
31	20	1 : 0.8	12	2.7	90.73
32	39	1 : 0.8	12	2.7	91.77
33	43	1 : 0.8	12	2.8	75.56
34	54	1 : 0.8	12	2.8	74.46
35	36	1 : 0.8	12	2.9	72.98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-1 (ต่อ) ผลการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
36	49	1 : 0.8	12	2.9	71.03
37	16	1 : 0.6	4	2.7	87.65
38	18	1 : 0.6	4	2.7	86.65
39	2	1 : 0.6	4	2.8	74.48
40	10	1 : 0.6	4	2.8	75.38
41	5	1 : 0.6	4	2.9	69.17
42	46	1 : 0.6	4	2.9	69.80
43	6	1 : 0.6	8	2.7	101.18
44	23	1 : 0.6	8	2.7	101.80
45	19	1 : 0.6	8	2.8	93.59
46	31	1 : 0.6	8	2.8	92.01
47	14	1 : 0.6	8	2.9	87.16
48	27	1 : 0.6	8	2.9	87.37
49	4	1 : 0.6	12	2.7	112.25
50	41	1 : 0.6	12	2.7	113.40
51	12	1 : 0.6	12	2.8	94.22
52	48	1 : 0.6	12	2.8	93.72
53	1	1 : 0.6	12	2.9	88.02
54	50	1 : 0.6	12	2.9	88.23

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง

การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลอง โดยค่าส่วนตกค้างหรือค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในการทดลองจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ คือ มีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ ค่าที่ได้จากการทดลองจึงจะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่งก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล จึงต้องทำการตรวจสอบความเหมาะสมของตัว

แบบจำลอง เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยวิธีการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง จะมีขั้นตอนทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

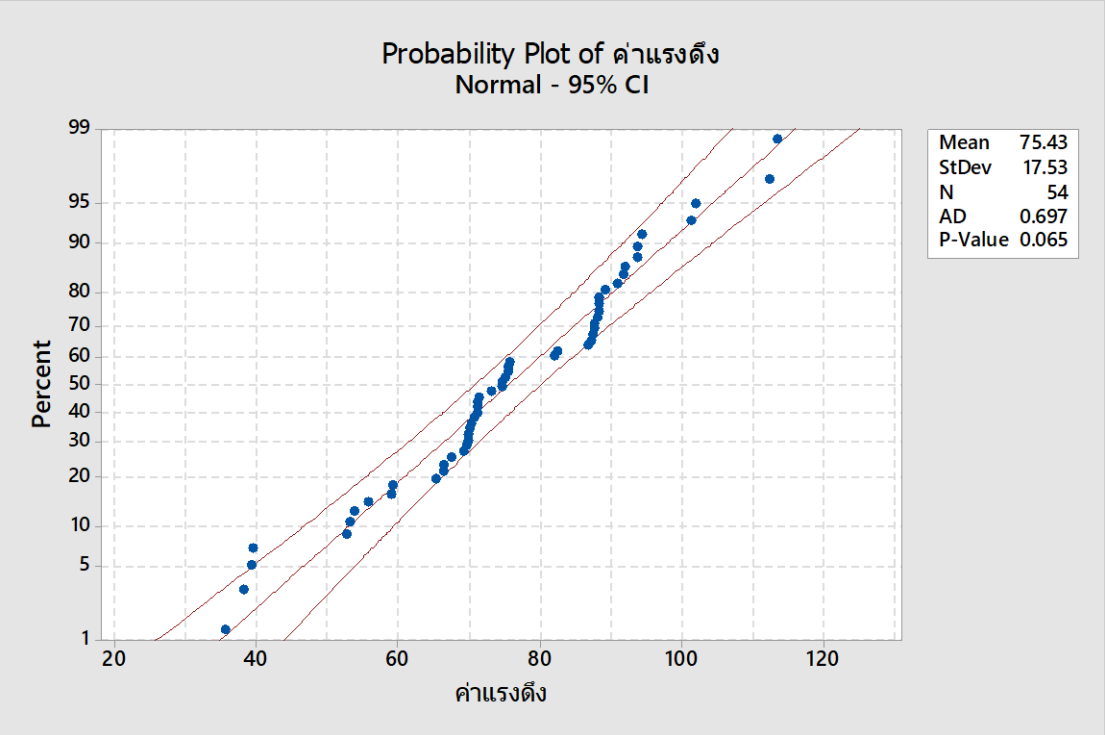
4.2.1 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง

เป็นการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยจะนำค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มาทำการพล็อตกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของค่าส่วนตกค้าง เพื่อพิจารณาว่ามีการแจกแจงลักษณะแบบใด หากมีการแจกแจงแบบปกติ กราฟจะมีการกระจายตัวลักษณะเป็นเส้นตรง และเมื่อทดสอบความเป็นปกติ ค่า P-Value จะต้องมีค่ามากกว่า 0.05

จึงนำค่าที่ได้จากการทดลอง มาทำการตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ซึ่งมีสมมติฐานว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

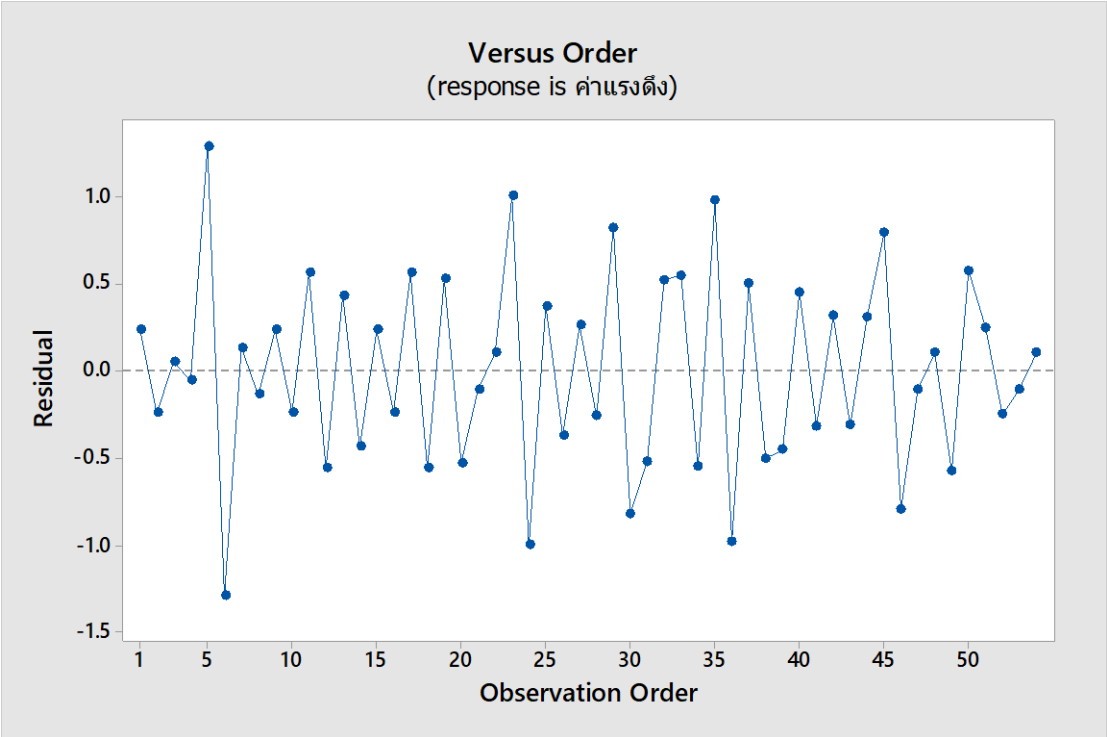


รูปที่ 4-1 กราฟการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

จากรูป เป็นการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่ากราฟมีการแจกแจงเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value เท่ากับ 0.065 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นไปตามสมมติฐาน

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระนั้น จะพิจารณาความสัมพันธ์จากแผนภาพซึ่งจะใช้วิธีการพล็อต เพื่อดูการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) ซึ่งการพิจารณานั้น ข้อมูลควรมีการกระจายแบบไม่เป็นรูปร่าง ไม่เป็นรูปแบบที่ชัดเจน ไม่มีการกระจายที่ปลายข้างหนึ่งมากกว่าปลายอีกข้างหนึ่ง และไม่มีแนวโน้ม จึงจะถือได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน



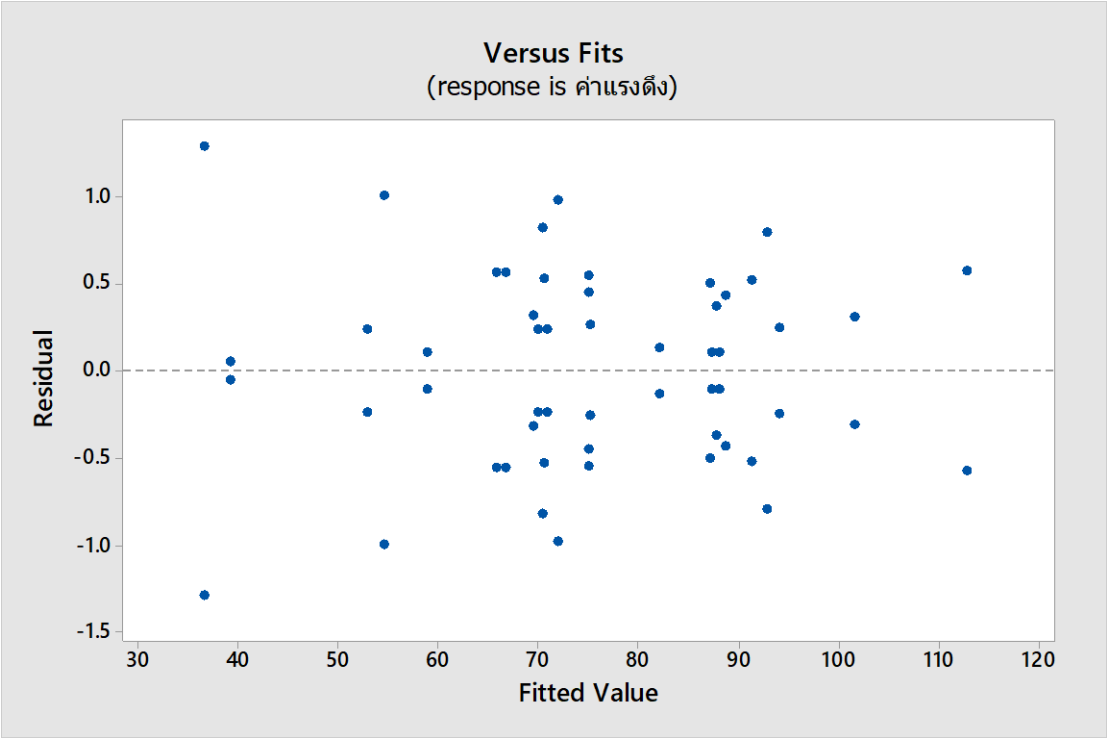
รูปที่ 4-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูป พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) เป็นการกระจายแบบไม่มีแนวโน้มและไม่มีรูปแบบที่ชัดเจน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของค่าที่ได้จากการทดลองนี้ มีความเป็นอิสระต่อกัน

4.2.3 การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Constant Variance) ทำได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residuals) กับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย (Fitted Value) ซึ่งหากข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนแล้วในแผนภาพการกระจายข้อมูลที่เป็นแนวโน้มต้องไม่มีการกระจายตัวเป็นรูปแบบที่ชัดเจน



รูปที่ 4-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากรูป จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่แน่ชัดจึงสรุปได้ว่า จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างของค่าที่ได้จากการทดลองนี้ มีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

จากการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลอง พบว่าค่าส่วนตกค้างหรือค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในการทดลองต้องเป็นไปตามสมมติฐานทั้งหมด 3 ข้อ คือ มีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ จึงสรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้

4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำได้โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 4-1 ผลการทดลองตาม Design Matrix จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตาราง

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบสามระดับ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	14515.9	2073.70	53.71	0.000
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	1	6150.5	6150.48	159.30	0.000
ปริมาณกาว	1	5144.0	5144.00	133.23	0.000
ขนาดหัวบีบ	1	2980.4	2980.43	77.19	0.000
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ปริมาณกาว	1	196.4	196.42	5.09	0.029
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ขนาดหัวบีบ	1	0.7	0.69	0.02	0.894
ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ	1	43.5	43.47	1.13	0.294
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ	1	0.4	0.38	0.01	0.922
Error	46	1776.1	38.61		
Total	53	16291.9			
S = 6.21369 R-sq = 89.10% R-sq (adj) = 87.44% R-sq (pred) = 86.26%					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตาราง สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ดังนี้

4.3.1 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก “อิทธิพลหลัก (Main Effect)”

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effect ในตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบสามระดับ สรุปได้ดังนี้

- ค่า F วิกฤติของ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)
- ค่า F วิกฤติของ ปริมาณกาว เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)
- ค่า F วิกฤติของ ขนาดหัวบีบ เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)

1) Main Effect อัตราส่วนกาว Resin : Hardener มีค่า F เท่ากับ 159.30 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
2) Main Effect ปริมาณกาว มีค่า F เท่ากับ 133.23 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ ปริมาณกาว มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
3) Main Effect ขนาดหัวบีบ มีค่า F เท่ากับ 77.19 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ ขนาดหัวบีบ มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.2 การทดสอบสมมติฐานของอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม “อันตรกิริยา (Interaction Effect)”

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Interaction Effect ในตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลแบบสามระดับ สรุปได้ดังนี้

- ค่า F วิกฤติของ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)
- ค่า F วิกฤติของ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ขนาดหัวบีบ เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)
- ค่า F วิกฤติของ ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)
- ค่า F วิกฤติของ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ เท่ากับ 4.05 ($f_{0.05,1,46}$)

1) Interaction Effect อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว มีค่า F เท่ากับ 5.09 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
2) Interaction Effect อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ขนาดหัวบีบ มีค่า F เท่ากับ 0.02 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ขนาดหัวบีบ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
3) Interaction Effect ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ มีค่า F เท่ากับ 1.13 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างปริมาณกาว กับ ขนาดหัวบีบ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
4) Interaction Effect อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ มีค่า F เท่ากับ 0.01 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า F วิกฤติ 4.05 นั่นคือ ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว กับ ขนาดหัวบีบ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4-3 Coded Coefficients ที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	75.429	0.846	89.20	0.000	
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	-65.35	5.18	-12.62	0.000	1.00
ปริมาณกาว	2.988	0.259	11.54	0.000	1.00
ขนาดหัวบีบ	-91.0	10.4	-8.79	0.000	1.00
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ปริมาณกาว	3.58	1.59	2.26	0.029	1.00
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ขนาดหัวบีบ	8.5	63.4	0.13	0.894	1.00
ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ	-3.36	3.17	-1.06	0.294	1.00
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ	1.9	19.4	0.10	0.922	1.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางพบว่า องค์ประกอบการขยายความแปรปรวน (Variance inflation factor : VIF) ค่า VIF เป็น 1 สรุปได้ว่าตัวแปรเป็นอิสระทั้งหมด ไม่มีความสัมพันธ์กัน

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของปัจจัยหลัก พบว่า ค่า P-Value ทุกตัวมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปัจจัยหลักทุกตัว ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และขนาดหัวบีบ มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอย่างมีนัยสำคัญ

ซึ่งนอกจากปัจจัยหลักดังกล่าวแล้ว ยังพบว่าปัจจัยร่วม “อันตรกิริยา (Interaction Effect)” ระหว่างอัตราส่วนกาว Resin : Hardener และ ปริมาณกาว เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังและปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอย่างมีนัยสำคัญได้ตามสมการนี้

Regression Equation

ค่าแรงดึง = 75.429 - 65.35 (อัตราส่วนกาว Resin : Hardener) + 2.988 (ปริมาณกาว) - 91.0 (ขนาดหัวบีบ) + 3.58 (อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว) + 8.5 (อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ขนาดหัวบีบ) - 3.36 (ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ) + 1.9 (อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ)

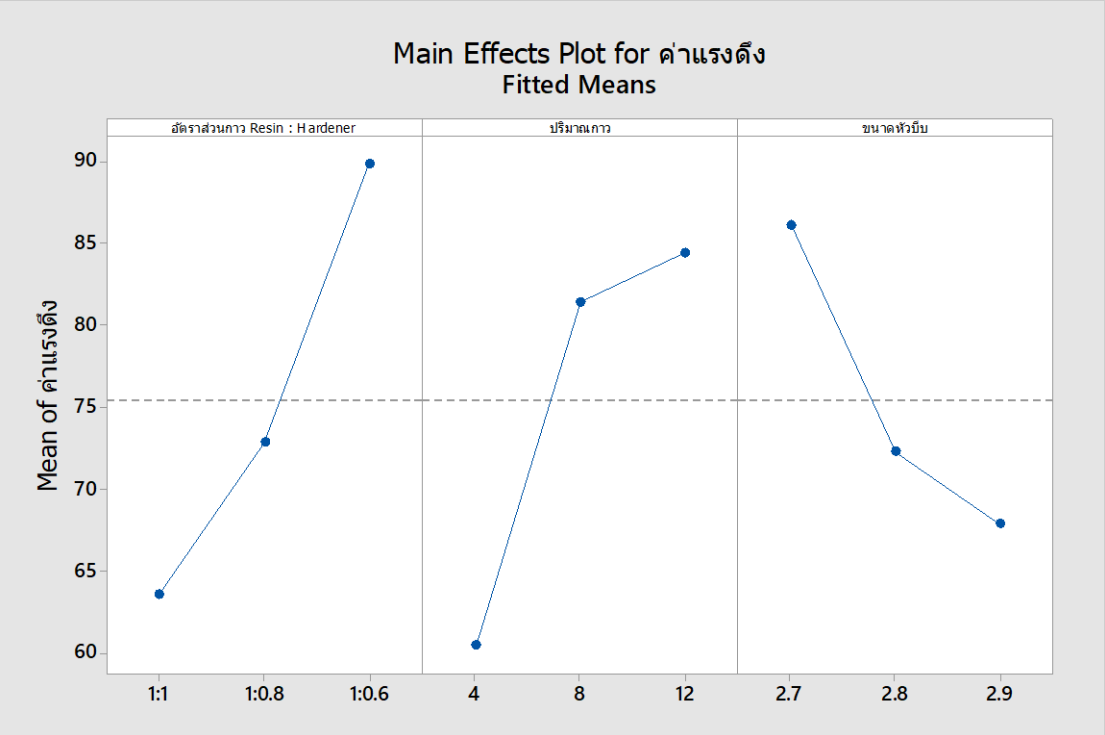
จากการพิจารณาค่า P-Value สรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว, ขนาดหัวบีบ และอัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว แสดงดังตาราง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-4 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	14471.3	3617.83	97.37	0.000
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	1	6150.5	6150.48	165.54	0.000
ปริมาณกาว	1	5144.0	5144.00	138.45	0.000
ขนาดหัวบีบ	1	2980.4	2980.43	80.22	0.000
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener* ปริมาณกาว	1	196.4	196.42	5.29	0.026
Error	49	1820.6	37.16		
Total	53	16291.9			
S = **6.09550** R-sq = **88.83%** R-sq (adj) = **87.91%** R-sq (pred) = **86.83%**					

จากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และ ขนาดหัวบีบ โดยความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) สามารถแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังได้ดังรูป



รูปที่ 4-4 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

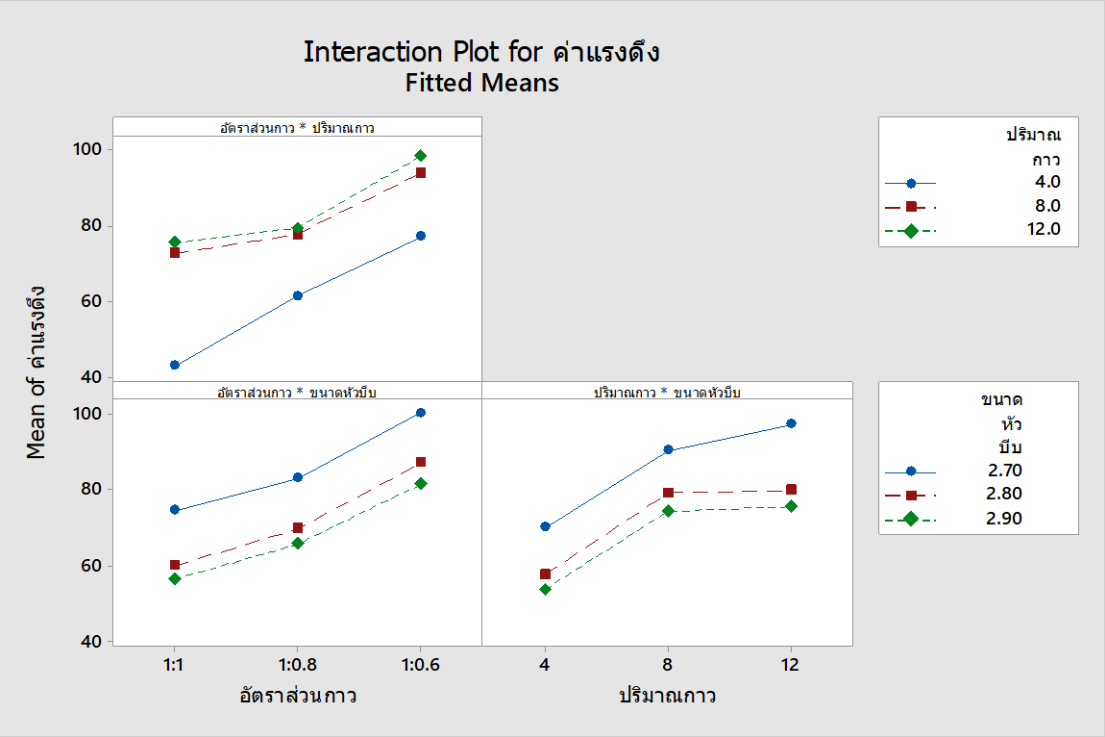
เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังสามารถอธิบายได้ดังนี้

อัตราส่วนกาว Resin : Hardener พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันขึ้น ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยอัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 โดยมวล นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณกาว พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันขึ้น ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยปริมาณกาว ที่ 12 มิลลิกรัม นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

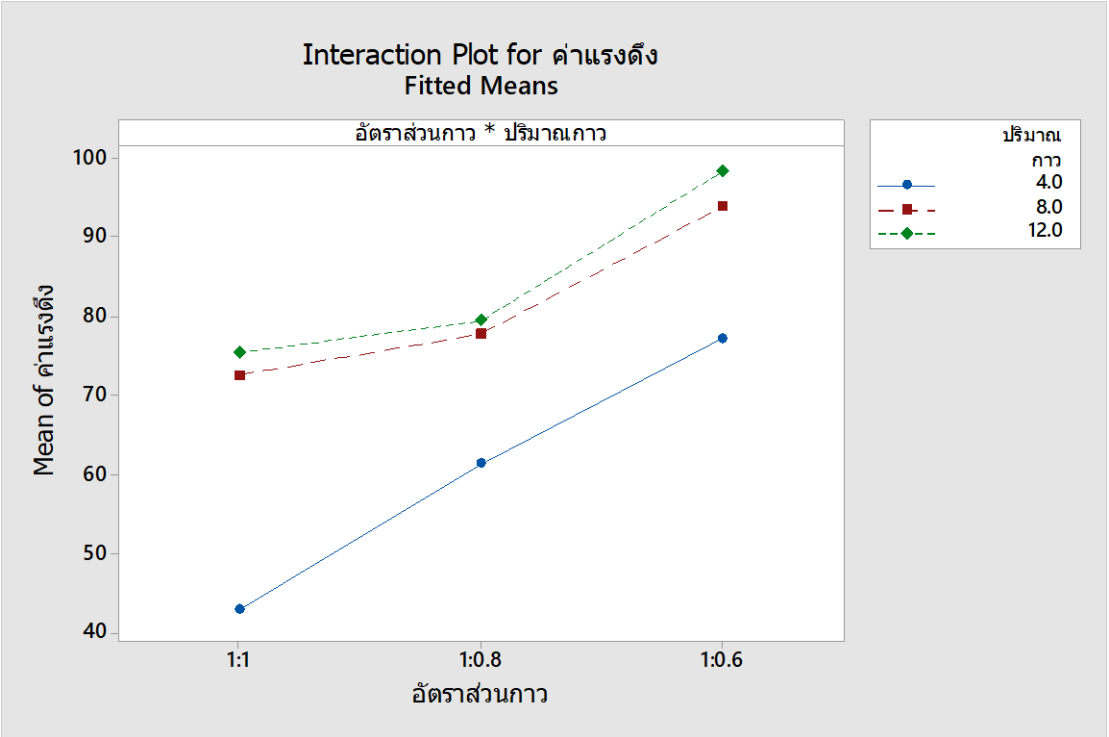
ขนาดหัวบีบ พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยขนาดหัวบีบ เส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ 2.9 มิลลิเมตร นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

แสดงภาพรวมปัจจัยร่วม “อันตรกิริยา (Interaction Effect)” ของปัจจัยทั้งหมดต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังทั้งหมด ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว, อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ขนาดหัวบีบ และ ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 4-5 อันตรกิริยาของปัจจัยทั้งหมดต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง

จากปัจจัยร่วม “อันตรกิริยา (Interaction Effect)” ของปัจจัยทั้งหมดต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังพบว่าปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอย่างมีนัยสำคัญชัดเจน เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 โดย P-Value = 0.029 มีเพียงอันตรกิริยาของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย คือระหว่าง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว ที่มีผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอย่างมีนัยสำคัญชัดเจน แสดงดังรูป



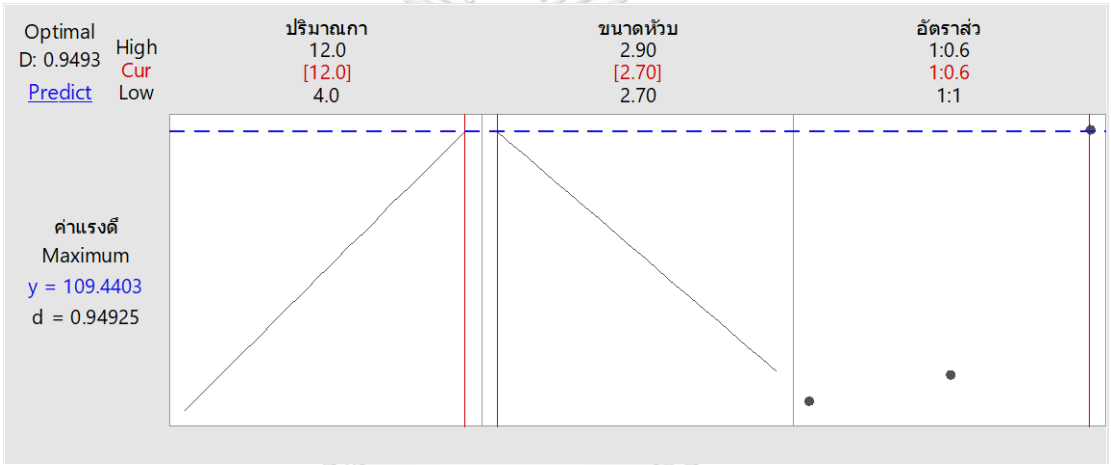
รูปที่ 4-6 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ระหว่าง
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว

จากการพิจารณากราฟอันตรกิริยาของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ระหว่างปัจจัยอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการปรับอัตราส่วนกาว Resin : Hardener และปริมาณกาวในระดับปัจจัยสูง จะส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอยู่ในระดับสูง เมื่อมีการปรับอัตราส่วนกาว Resin : Hardener และปริมาณกาวในระดับปัจจัยต่ำ จะส่งผลให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอยู่ในระดับต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer)

จากการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยทางทีมใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในเป้าหมายด้านค่าแรงดึงที่มากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแต่ละระดับปัจจัยในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนในการผลิต พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 1 : 0.6 ปริมาณกาวควรอยู่ที่ 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ ที่ใช้ควรอยู่ที่ 2.7 มิลลิเมตร โดยมีค่าความพึงพอใจของผลตอบ D = 0.9493 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 สรุปได้ว่า ผลตอบได้รับความพึงพอใจอย่างมาก ดังแสดงในรูป



รูปที่ 4-7 ค่าการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปพบว่า อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่าระดับปัจจัยชนขอบบน ตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมได้ว่า หากทำการปรับอัตราส่วนในระดับที่สูงกว่าขอบบนของระดับปัจจัย อาจส่งผลให้ค่าแรงดึงมากกว่าปัจจุบัน แต่ทางทีมผู้วิจัยสรุปใช้อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 โดยมวล เนื่องจาก หากมีการปรับสัดส่วนของ Hardener ลดลง จะส่งผลกระทบในเรื่องของเวลาในการพักกาวเพิ่มมากขึ้น

ขนาดหัวบีบที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่าระดับปัจจัยชนขอบล่าง ตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมได้ว่า หากทำการปรับขนาดหัวบีบในระดับที่ต่ำกว่าขอบล่างของระดับปัจจัย อาจส่งผลให้ค่าแรงดึงมากกว่าปัจจุบัน แต่ในการผลิตนี้ไม่สามารถปรับได้ เนื่องจาก หากมีการปรับขนาดหัวบีบลง จะส่งผลกระทบในเรื่องของแผ่นสเตนเลส บีบรัดสายหนังจนเกิดการฉีกหรือขาด ดังนั้นทางทีมผู้วิจัย จึงขอสรุปใช้ขนาดหัวบีบ ที่ 2.7 มิลลิเมตร

ปริมาณกาวที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่า ระดับปัจจัยชนขอบบน ตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมได้ว่า หากทำการปรับปริมาณกาวในระดับที่สูงกว่าขอบบนของระดับปัจจัย อาจส่งผลให้ค่าแรงดึงมากกว่าปัจจุบัน

จากหัวข้อ 3.3.1 กำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง มีการคำนวณปริมาณกาวที่หยอดได้ เมื่อทำการบีบแผ่นสเตนเลส ด้วยหัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 มิลลิเมตร ปริมาณกาวที่หยอดได้โดยประมาณ คือ 16 มิลลิกรัม จะเห็นได้ว่าปริมาณกาว จากผลการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ปริมาณกาว เท่ากับ 12 มิลลิกรัม ซึ่งได้ค่าน้อยกว่าการคำนวณปริมาณกาวที่หยอดได้ 4 มิลลิกรัม ที่การบีบแผ่นสเตนเลส ด้วยหัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 มิลลิเมตรเท่ากัน แสดงว่าสามารถเพิ่มปริมาณกาวในระดับที่สูงกว่าขอบบนของระดับปัจจัยได้

แต่ในการผลิตนี้ทางโรงงานกรณีศึกษา สรุปใช้ปริมาณกาวที่ 12 มิลลิกรัม ตามผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) เนื่องจากได้ค่าแรงเฉลี่ยตรงตามเป้าหมายที่ต้องการ และหากทำการหยอดกาว ที่ปริมาณกาว 16 มิลลิกรัม อาจเป็นปริมาณที่มากเกินความเหมาะสม ทำให้การแข็งตัวของกาวไม่สมบูรณ์ที่เวลาการพักกาวตามมาตรฐานที่โรงงานกำหนด ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังลดลง ซึ่งหากเพิ่มเวลาการพักกาว ก็จะส่งผลต่อเวลาในการผลิต ซึ่งทางโรงงานกรณีศึกษาไม่ยอมรับ และสาเหตุอีกประการหนึ่งคือ การบีบแผ่นสเตนเลส ด้วยหัวบีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.7 มิลลิเมตร อาจเกิดการดีดกลับของสายหนังที่บีบเข้ากับแผ่นสเตนเลส เนื่องจากความยืดหยุ่นของสายหนัง ยิ่งบีบเยอะการดีดกลับของสายหนังที่บีบเข้ากับแผ่นสเตนเลสยิ่งมาก หากทำการหยอดกาว ที่ปริมาณกาว 16 มิลลิกรัม อาจส่งผลให้เกิดกาวล้น ซึ่งอ้างอิงจากการกำหนดปัจจัยในการทดลอง คือ ยอมให้ปริมาณกาวน้อยแต่ไม่ยอมให้ปริมาณกาวล้น เนื่องจากการเกิดกาวล้น ถือเป็นอาการงานเสียที่ไม่สามารถยอมรับได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตามผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) โดยสรุปทิศทางการปรับแต่ละระดับปัจจัย เพื่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังมากที่สุด ดังตาราง

ตารางที่ 4-5 การปรับแต่ละระดับปัจจัยเพื่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังมากที่มากที่สุด

ปัจจัย	ทิศทางการปรับ	หลังปรับปรุง	หน่วย
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	สูง	1 : 0.6	โดยมวล
ปริมาณกาว	สูง	12	มิลลิกรัม
ขนาดหัวบีบ	ต่ำ	2.7	มิลลิเมตร

4.5 ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง มาทำการดำเนินการใช้ในสภาวะการทำงานจริง เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการประกอบสายหนังให้เป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้ เพื่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอยู่ในเป้าหมาย และลดจำนวนของเสียการประกอบหลุดของสร้อยข้อมือสายหนังที่มีจำนวนมากให้ลดน้อยลง

4.5.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

ทวนสอบผลการตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง เพื่อให้เพื่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอยู่ในเป้าหมาย

4.5.2 การเตรียมการทดลอง

ทำการทดลองที่สภาวะการทำงานจริงในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และขนาดหัวบีบ ทำการปรับตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งการทดสอบยืนยันจะใช้พนักงานควบคุมเครื่องวัดแรงดึงคนเดียวกัน ในขั้นตอนทดสอบผลการปรับปรุง

4.5.3 ขั้นตอนการทดลอง

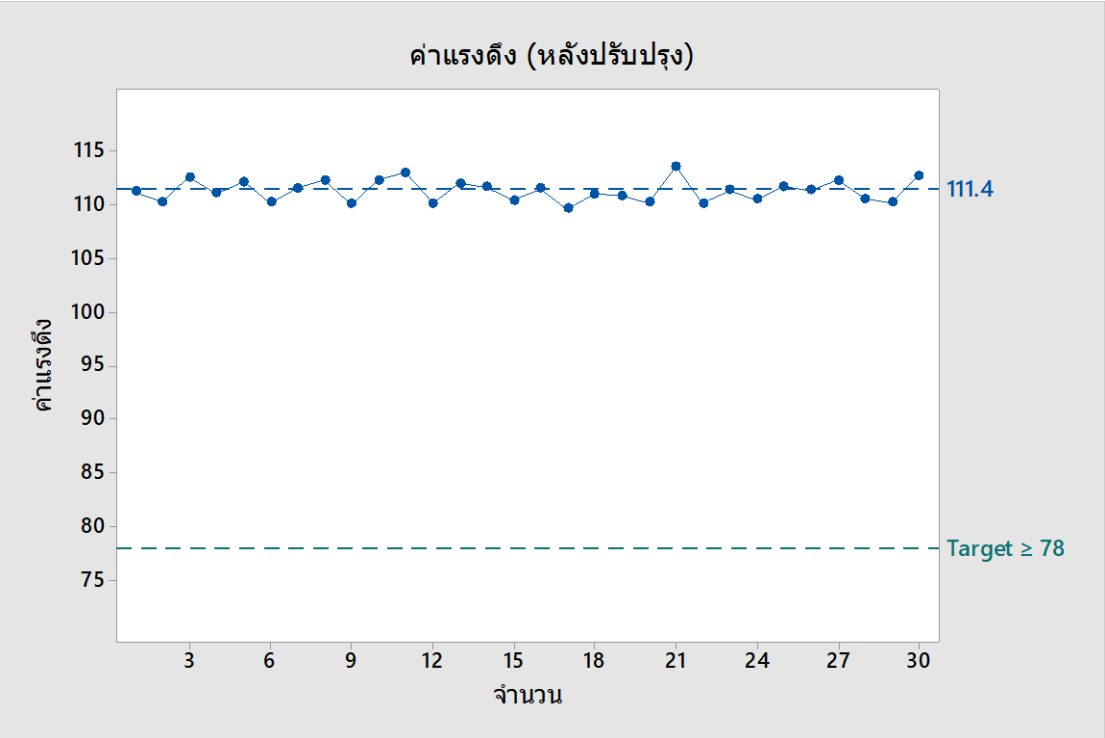
เก็บข้อมูลของค่าแรงดึงที่ได้จากการทดลอง บันทึกลงในใบรายงานค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาทำการวิเคราะห์

4.5.4 ผลการทดลองหลังการปรับปรุงการผลิต

จากการดำเนินงานแก้ไขปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยใช้การออกแบบการทดลองซึ่งมีขั้นตอนได้แก่ การกำหนดปัญหา (Problem Identification), การกำหนดปัจจัย (Factors Identification), การออกแบบการทดลอง (Design Experiment) และ การวิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data) เมื่อเสร็จสิ้นการดำเนินการแล้ว กระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังจะปฏิบัติภายใต้การควบคุมที่ได้กำหนดขึ้นมา เพื่อให้เพื่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอยู่ในเป้าหมายด้านค่าแรงที่มากที่สุด และลดของเสียการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฝาท้ายชิ้นงานน้อยที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยการปรับค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการวิจัย เป็นสภาวะที่ทำให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังมีค่ามากกว่าเดิม จึงนำค่าการปรับระดับปัจจัยที่ได้คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 โดยมวล, ปริมาณกาว ที่ 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ ที่ 2.7 มิลลิเมตร มาทดสอบใช้ในการทำงานจริงในกระบวนการประกอบ และทดสอบค่าแรงดึงโดยเก็บข้อมูลค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นเป็นจำนวน 30 ชิ้น โดยแนบข้อมูลในภาคผนวก ข ตารางที่ ข5



รูปที่ 4-8 ค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง)

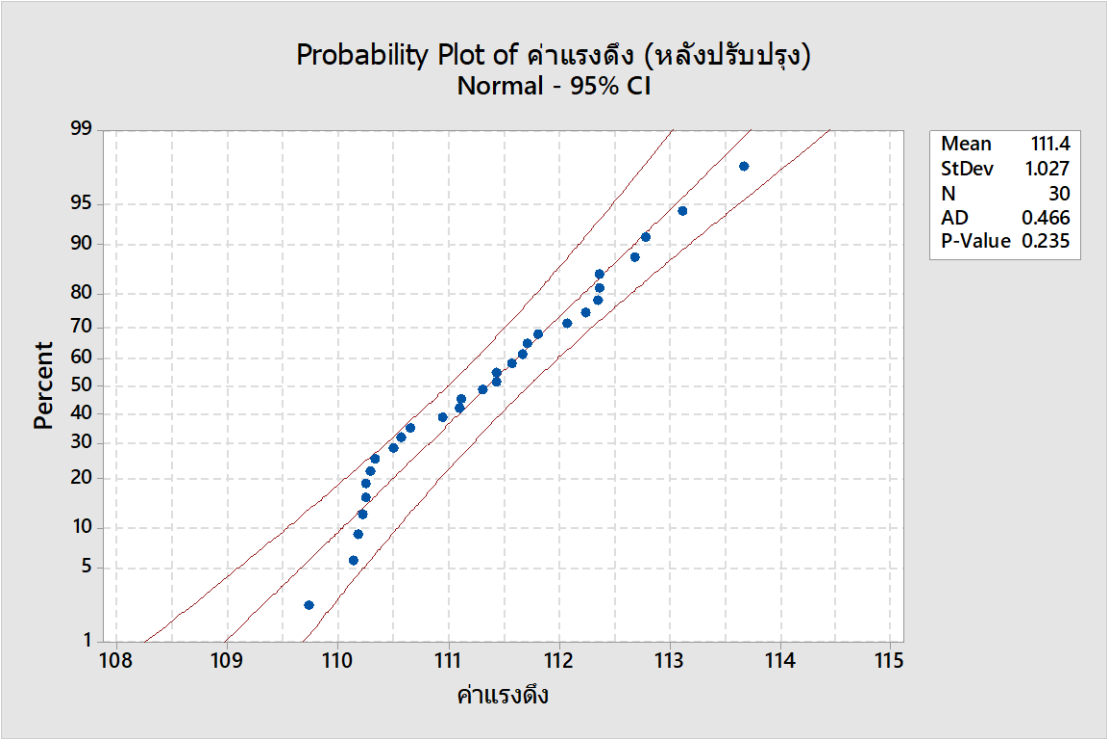
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.5.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล

ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติเพื่อยืนยันผลคือการวิเคราะห์ค่าแรงดึงที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการยืนยันว่าการทดสอบมีข้อมูลเป็นการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ จึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีสมมติฐานว่า

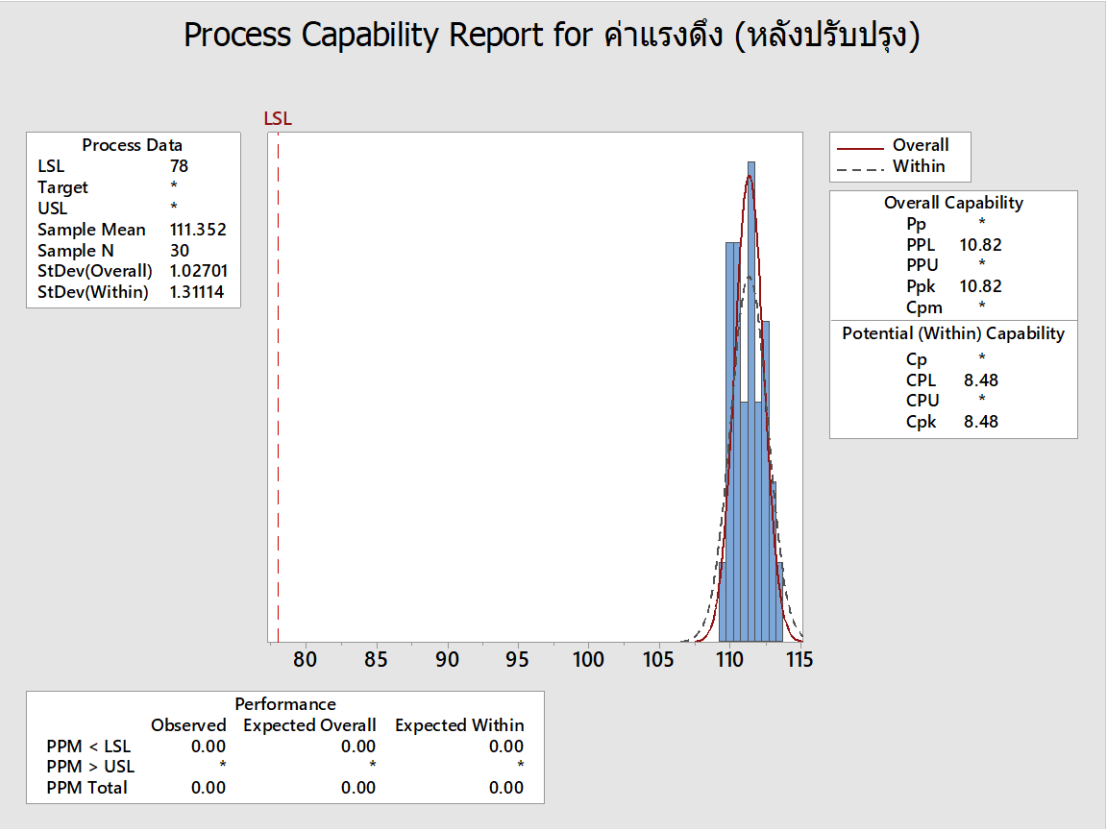
H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ



รูปที่ 4-9 ความเป็นปกติของค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง)

จากรูป การทดสอบความเป็นปกติของค่าแรงดึงหลังการปรับปรุง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่ากราฟมีการแจกแจงเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value เท่ากับ 0.253 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลจากผลการทดลองชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นไปตามสมมติฐาน



รูปที่ 4-10 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าแรงดึงหลังการปรับปรุง

จากรูป ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าแรงดึงหลังการปรับปรุง มีดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง เท่ากับ 111.352 นิวตัน

2) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงดึงในกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 1.027 นิวตัน

4) ความสามารถด้านสมรรถนะของค่าแรงดึงในกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 8.48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 แนวทางการควบคุม

1) อัตราส่วนกาว Resin : Hardener

อัตราส่วนกาว Resin : Hardener โดยมวล เป็นปัจจัยที่สามารถทำการปรับเพิ่มหรือลดได้ โดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลสำหรับห้องปฏิบัติการหรือห้องทดลอง ความละเอียดสูง

ซึ่งในกระบวนการ การผสมระหว่างกาว Resin : Hardener จะทำการผสมกาวครั้งละไม่เกิน 10 กรัม และจะไม่ผสมกาวทิ้งไว้เกิน 20 นาที/ต่อครั้ง

จากการทดลองพบว่า ค่าที่เหมาะสมในการผสมกาว Resin : Hardener อยู่ที่ 1 : 0.6 โดยมวล ดังนั้นแนวทางในการควบคุมการผสมกาว มีแนวทางดังนี้

- จัดทำคู่มือการผสมกาว Resin : Hardener ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ โดยมีรายละเอียดบ่งบอกปริมาณการผสม ปริมาณกาวอยู่ที่ 12 มิลลิกรัม
- ทำการตรวจสอบน้ำหนักกาว Resin และ กาว Hardener ทุกครั้งโดยการชั่งน้ำหนักก่อนการผสม โดยพนักงาน
- ควบคุมคุณภาพของการผสมกาว โดยระบุเวลาที่ทำการผสมกาวและเวลาหลังผสมกาว 20 นาที เพื่อเป็นการบ่งบอกว่า จะไม่ทำการใช้กาวนี้ในการประกอบ เมื่อเวลาเกินจากที่ระบุไว้ ซึ่งไม่ผสมกาวทิ้งไว้เกิน 20 นาที/ต่อครั้ง
- จัดฝึกอบรมพนักงานประจำปี

แนวทางการผสมกาว Resin : Hardener ต่อหนึ่งครั้ง ที่มีการระบุในคู่มือการปฏิบัติงานในส่วนของการผสมกาว Resin : Hardener ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ แสดงดังตาราง

ตารางที่ 4-6 แนวทางการผสมกาว Resin : Hardener ต่อหนึ่งครั้ง

แบบ	ปริมาณกาว Resin (กรัม)	ปริมาณกาว Hardener (กรัม)	ปริมาณกาว (กรัม)	จำนวนหยอดกาว (ครั้ง)	ชิ้นงานผลิต (ชิ้น)
1	1.0	0.6	1.6	133	66
2	2.0	1.2	3.2	266	133
3	3.0	1.8	4.8	400	200
4	4.0	2.4	6.4	533	266
5	5.0	3.0	8.0	666	333
6	6.0	3.6	9.6	800	400

จากตารางแนวทางการผสมกาว Resin : Hardener ต่อหนึ่งครั้ง อธิบายได้ดังนี้

คอลัมน์ “ปริมาณกาว Resin (กรัม)” และ “ปริมาณกาว Hardener (กรัม)” เป็นการคำนวณสัดส่วนการผสมตามผลการทดลองค่าที่เหมาะสมในการผสมกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 โดยมวล

คอลัมน์ “ปริมาณกาว (กรัม)” เป็นปริมาณกาว Resin ผสมกับกาว Hardener ซึ่งการการผสม จะทำการผสมครั้งละไม่เกิน 10 กรัม ดังนั้นปริมาณกาวที่ผสม ตามแนวทางการผสม จะกำหนดไว้สูงสุดตามแบบที่ 6 คือปริมาณกาว ในการผสมกาว Resin กับกาว Hardener อยู่ที่ 9.6 กรัม

คอลัมน์ “จำนวนหยอดกาว (ครั้ง)” คือจำนวนครั้งที่สามารถหยออกาวได้ในปริมาณกาวครั้งละ 12 มิลลิกรัม ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมของปริมาณกาวจากผลการทดลอง

คอลัมน์ “ชิ้นงานผลิต (ชิ้น)” คือจำนวนชิ้นงานที่สามารถผลิตได้จากการผสมกาวตามแบบ โดยการผลิตชิ้นงานสร้อยข้อมือสายหนัง 1 ชิ้น จะทำการหยอดกาว 2 ตำแหน่ง ดังนั้นในคอลัมน์ “ชิ้นงานผลิต (ชิ้น)” จะเป็นครึ่งหนึ่งของ คอลัมน์ “จำนวนหยอดกาว (ครั้ง)” การกำหนดนี้เป็นแนวทางในการผสมกาว เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานได้ทำการใช้เป็นแนวทางในการผสมกาว ให้เหมาะสมกับการผลิต โดยปกติการผลิต จะทำการผลิตตามใบสั่งงาน มาตฐานคือใบสั่งงานละ 200 ชิ้น ดังนั้นการผสมกาวจะผสมตามแบบที่ 3

2) ปริมาณกาว

ปริมาณกาว เป็นปัจจัยการที่สามารถทำการปรับเพิ่มหรือลดได้ โดยการตั้งเครื่องหยอดกาวที่ความดัน 0.25 เมกะปาสคาล ซึ่งอัตราส่วนน้ำหนักกาว ต่อเวลา คือ 4 มิลลิกรัม /1 วินาที

จากการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมของปริมาณกาว อยู่ที่ 12 มิลลิกรัม ซึ่งต้องตั้งค่าเครื่องหยอดกาวที่ความดัน 0.25 เมกะปาสคาล เวลา 3 วินาที ดังนั้นแนวทางในการควบคุมปริมาณกาว มีแนวทางดังนี้

- จัดทำคู่มือการตั้งค่าเครื่องหยอดกาว ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ
- ทำการตรวจสอบปริมาณกาว โดยชั่งน้ำหนักกาวที่ถูกบีบออกจากเครื่องหยอดกาวเฉพาะครั้งแรก เพื่อทวนสอบปริมาณกาว ก่อนการประกอบ โดยพนักงาน
- จัดฝึกอบรมพนักงานประจำปี

3) ขนาดหัวบีบ

ขนาดหัวบีบ เป็นปัจจัยการที่สามารถทำการปรับเพิ่มหรือลดได้ โดยทำการถอดเปลี่ยนขนาดของหัวบีบ

จากการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมของขนาดหัวบีบ อยู่ที่ 2.7 มิลลิเมตร ดังนั้นแนวทางในการควบคุมขนาดหัวบีบ มีแนวทางดังนี้

- จัดทำคู่มือการเปลี่ยนขนาดหัวบีบ ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ
- ทำการทวนสอบขนาดหลังจากการบีบด้วยหัวบีบขนาด 2.7 มิลลิเมตร ด้วยเวอร์เนียร์ เฉพาะครั้งแรก เพื่อทวนสอบขนาดของสายหนังที่บีบเข้ากับแผ่นสเตนเลส ก่อนการประกอบ โดยพนักงาน
- จัดฝึกอบรมพนักงานประจำปี

4.7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) หลังการปรับปรุง

หลังการปรับปรุง ทำการระดมความคิดและวิเคราะห์ร่วมกันโดยทีมผู้เชี่ยวชาญ ทีมเดียวกับก่อนปรับปรุงทั้ง 10 คน ได้แก่ ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพวิศวกรฝ่ายผลิต หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ หัวหน้าแผนก ผลิตกระบวนการประกอบ และพนักงานแผนกผลิตกระบวนการประกอบ โดยการวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ พิจารณาจากปัจจัยทั้ง 3 ประการ ดังนี้

S - Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบ

O - Occurrence คือ ระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง

D - Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทำการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ได้ดังนี้ RPN = S x O x D โดยใช้เกณฑ์การประเมินเช่นเดียวกับก่อนปรับปรุง คือจะแบ่งเกณฑ์การประเมินแต่ละเกณฑ์เป็น 5 ระดับ

จากเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยจากทั้ง 3 ประการ คือ การกำหนดระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S – Severity) ระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O – Occurrence) และระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D – Detection) สามารถจัดทำเป็นตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง หลังการปรับปรุง ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล), ปริมาณกาว (กรัม), ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร) ได้ดังนี้

ตารางที่ 4-7 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง หลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกระทบในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ											
ชื่อผลิตภัณฑ์ : สร้อยข้อมือสายหนัง		ผู้รับผิดชอบกระบวณการ : การผลิต			ผู้จัดทำ : ฝ่ายควบคุมคุณภาพ วันเดือนปี (ทบทวนล่าสุด) : 03/07/64 กำหนดเสร็จ : 18/07/64				หมายเลข FMEA : PD-F-010 หน้า : 1 คณะทำงาน :ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต, ฝ่ายผลิต (กระบวนการประกอบ), ฝ่ายประกันคุณภาพ	
กระบวนการ / หน้าที่ / การทำงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่อง	S	สาเหตุหลักของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน	D	RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง	อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน	1	มาตรการควบคุมที่ใช้ ตรวจสอบได้แน่นอน	1	4	- จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ
	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน	1	มาตรการควบคุมที่ใช้ ตรวจสอบได้แน่นอน	1	4	- จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ

ตารางที่ 4-7 (ต่อ) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง หลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและกระทบในกระบวนการผลิตเครื่องประดับ											
ชื่อผลิตภัณฑ์ : สร้อยข้อมือสายหนัง		ผู้รับผิดชอบกระบวณการ : การผลิต			ผู้จัดทำ : ฝ่ายควบคุมคุณภาพ วันเดือนปี (ทบทวนล่าสุด) : 03/07/64 กำหนดเสร็จ : 18/07/64				หมายเลข FMEA : PD-F-010 หน้า : 2 คณะทำงาน :ฝ่ายวิศวกรรมการผลิต, ฝ่ายผลิต (กระบวนการประกอบ), ฝ่ายประกันคุณภาพ	
กระบวนการ / หน้าที่การทำงาน	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่อง	S	สาเหตุหลักของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การควบคุมกระบวนการในปัจจุบัน	D	RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ
ประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง	ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม ส่งผลให้ค่าแรงดึงน้อยกว่าเป้าหมาย	สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุก	4	พนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน	1	มาตรการควบคุมที่ใช้ ตรวจสอบได้แน่นอน	1	4	- จัดการอบรมเพื่อสร้างความตระหนักในการทำงาน	ฝ่ายผลิตแผนกประกอบ

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) ของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง หลังการปรับปรุง จากการกำหนดเกณฑ์การประเมินค่าความเสี่ยง 5 ระดับ ซึ่งใช้เกณฑ์เดียวกันกับก่อนการปรับปรุง โดยพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยจากทั้ง 3 ประการ คือ การกำหนดระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S – Severity) ระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O – Occurrence) และระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D – Detection) พิจารณาผลกระทบจากปัจจัย ทั้ง 3 ปัจจัย ได้ดังนี้

อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้การประกอบหลุด เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S – Severity) พบว่าอัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้การประกอบหลุด อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 4 คือ สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุกราย ต้องทำการซ่อมแซมหรือแก้ไขก่อนจึงจะยอมรับได้ เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O – Occurrence) ซึ่งเกณฑ์การยอมรับโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง ในกระบวนการผลิต คือ 3 ครั้ง แต่ไม่เกิน 12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง ดังนั้นเกณฑ์การประเมินระดับความน่าจะเป็นของโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง อยู่ในเกณฑ์ระดับที่ 1 คือ เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย (น้อยกว่า 3 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง) เนื่องจากมีการจัดทำแนวทางการควบคุม เช่น จัดทำคู่มือการผสมกาว Resin : Hardener ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ, ทำการตรวจสอบน้ำหนักกาว Resin และ กาว Hardener ทุกครั้งโดยการชั่งน้ำหนักก่อนการผสม โดยพนักงาน และจัดฝึกอบรมพนักงานประจำปี หากจะเกิดข้อบกพร่องได้ คือพนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D – Detection) อยู่ในเกณฑ์ระดับที่ 1 คือ มาตรการควบคุมที่ใช้ในการตรวจจับหรือตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องได้แน่นอน โดยพนักงานสามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตา โดยพนักงานมีการทำการตรวจสอบน้ำหนักกาว Resin และกาว Hardener ทุกครั้งโดยการชั่งน้ำหนักก่อนการผสม

ปริมาณกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้การประกอบหลุด เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S – Severity) พบว่าปริมาณกาวไม่เหมาะสม ส่งผลให้การประกอบหลุด อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 4 คือ สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุกราย ต้องทำการซ่อมแซมหรือแก้ไขก่อนจึงจะยอมรับได้ เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O – Occurrence) ซึ่งเกณฑ์การยอมรับโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง ในกระบวนการผลิต คือ 3 ครั้ง แต่ไม่เกิน 12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง ดังนั้นเกณฑ์การประเมินระดับความน่าจะเป็นของโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 1

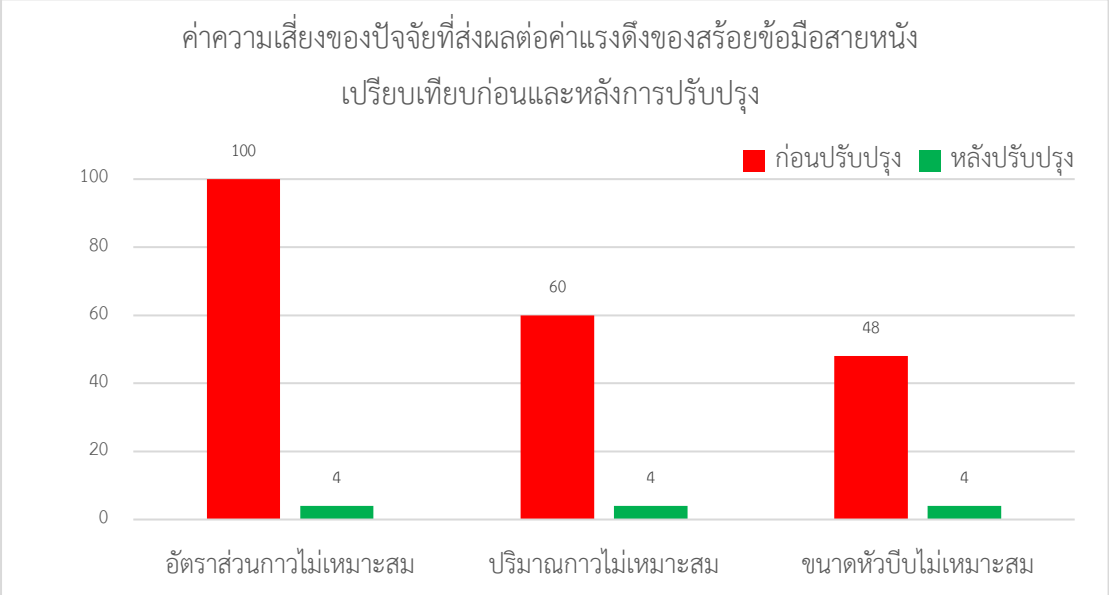
คือ เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย (น้อยกว่า 3 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง) เนื่องจากมีการจัดทำแนวทางการควบคุม เช่น จัดทำคู่มือการตั้งค่าเครื่องหยอดกาว ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ, ทำการตรวจสอบปริมาณกาว โดยชั่งน้ำหนักกาวที่ถูกบีบออกจากเครื่องหยอดกาวเฉพาะครั้งแรก เพื่อทวนสอบปริมาณกาวก่อนการประกอบ โดยพนักงาน และฝึกอบรมพนักงานประจำปี หากจะเกิดข้อบกพร่องได้ คือพนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D – Detection) อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 1 คือ มาตรการควบคุมที่ใช้ในการตรวจจับหรือตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องได้แน่นอน โดยพนักงานมีการทำการตรวจสอบปริมาณกาว โดยชั่งน้ำหนักกาวที่ถูกบีบออกจากเครื่องหยอดกาวเฉพาะครั้งแรก เพื่อทวนสอบปริมาณกาวก่อนการประกอบ

ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม ส่งผลให้การประกอบหลุด เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับความรุนแรงของผลกระทบ (S – Severity) พบว่าขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม ส่งผลให้การประกอบหลุด อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 4 คือ สร้างความไม่พอใจให้กับลูกค้าทุกราย ต้องทำการซ่อมแซมหรือแก้ไขก่อนจึงจะยอมรับได้ เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (O – Occurrence) ซึ่งเกณฑ์การยอมรับโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง ในกระบวนการผลิต คือ 3 ครั้ง แต่ไม่เกิน 12 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง ดังนั้นเกณฑ์การประเมินระดับความน่าจะเป็นของโอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุข้อบกพร่อง อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 1 คือ เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย (น้อยกว่า 3 ครั้ง จากการสุ่ม 30 ครั้ง) เนื่องจากมีการจัดทำแนวทางการควบคุม เช่น จัดทำคู่มือการเปลี่ยนขนาดหัวบีบ ก่อนจะเริ่มกระบวนประกอบ, ทำการทวนสอบขนาดหลังจากการบีบด้วยหัวบีบขนาด 2.7 มิลลิเมตร ด้วยเวอร์เนียร์เฉพาะครั้งแรก เพื่อทวนสอบขนาดของสายหนังที่บีบเข้ากับแผ่นสเตนเลส ก่อนการประกอบ โดยพนักงาน และฝึกอบรมพนักงานประจำปี หากจะเกิดข้อบกพร่องได้ คือพนักงานขาดความตะหนักในการทำงาน เมื่อพิจารณาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยการการประเมินค่าความเสี่ยง ในส่วนของระดับความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (D – Detection) อยู่ในเกณฑ์ ระดับที่ 1 คือ มาตรการควบคุมที่ใช้ในการตรวจจับหรือตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องได้แน่นอน โดยพนักงานมีการทำการทวนสอบขนาดหลังจากการบีบด้วยหัวบีบขนาด 2.7 มิลลิเมตร ด้วยเวอร์เนียร์เฉพาะครั้งแรก เพื่อทวนสอบขนาดของสายหนังที่บีบเข้ากับแผ่นสเตนเลส ก่อนการประกอบ โดยพนักงาน

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) สามารถจัดทำเป็นตารางเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง ของค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) แต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ได้ดังนี้

ตารางที่ 4-8 แสดงค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง เปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

เรียงลำดับ	ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง				หลังปรับปรุง			
		S	O	D	RPN	S	O	D	RPN
1	อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม	4	5	5	100	4	1	1	4
2	ปริมาณกาวไม่เหมาะสม	4	5	3	60	4	1	1	4
3	ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม	4	3	4	48	4	1	1	4



รูปที่ 4-11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ส่งผล
ต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งนำมาทำแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นความแตกต่างของค่าความเสี่ยง ได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น พบว่าค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ส่งผลเรื่องค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังหลังปรับปรุงมาก มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด

สรุปได้ว่า จากการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ผลจากการทดลอง สามารถลดค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ส่งผลให้การประกอบสร้อยข้อมือสายหนังหลุด ลดลงได้อย่างเห็นได้ชัด

4.8 เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ เพื่อสรุปภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยที่ใช้ใช้ในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ดังตาราง

ตารางที่ 4-9 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

ปัจจัย	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	หน่วย
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	1 : 1	1 : 0.6	โดยมวล
ปริมาณกาว	8	12	มิลลิกรัม
ขนาดหัวบีบ	2.8	2.7	มิลลิเมตร

จากปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึง ทั้ง 3 ปัจจัย นำมาเปรียบเทียบระดับปัจจัยที่ใช้ในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ จะเห็นได้ว่าทิศทางการปรับแต่ละระดับปัจจัย ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงที่มากที่สุด มีทิศการปรับ ดังนี้ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ปรับจากต่ำเป็นสูง ปริมาณกาวปรับจากกลางเป็นสูง และขนาดหัวบีบปรับจากกลางเป็นต่ำ

จากการพิจารณาเรื่อง อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่หลังปรับปรุงเป็น 1 : 0.6 โดยมวล ซึ่งไม่เป็นไปตามข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy ที่แนะนำอัตราส่วนกาว Resin : Hardener เท่ากับ 1 : 0.8 โดยมวล วิเคราะห์ได้ว่า เนื่องจากการแนะนำตามข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy เป็นการทดสอบเก็บข้อมูลโดยผู้ผลิตกาว ซึ่งอาจจะไม่ได้ครอบคลุมทุกชิ้นงาน แต่เป็นเพียงการแนะนำเบื้องต้น ซึ่งการปรับสภาพความแข็งแรงและความทนทานของการยึดติดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ลักษณะวัสดุในการประกอบชิ้นงาน พื้นผิวของชิ้นงาน พื้นที่ยึดเกาะ ปริมาณกาว ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบเพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นงานนั้น ๆ

เนื่องจากปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังและปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมระดับของปัจจัยได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนและการดำเนินงานของหน้างานปกติ โดยที่ค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าก่อนปรับปรุง คิดเป็น 0.0015% และค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าหลังปรับปรุง คิดเป็น 0.0024% วิธีการคำนวณได้แสดงในหน้าถัดไป หรือเพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 60 อย่างไรก็ดี ค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าก็ยังไม่ถึง 0.01% ซึ่งไม่ใช่ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง แต่อาจส่งผลต่อความไม่พึงพอใจของลูกค้าได้ ถ้ากรณีชิ้นส่วนของชิ้นงานหลุดออกเนื่องจากปริมาณกาวไม่เหมาะสม และในส่วนของขนาดหัวบีบ สามารถถอดเปลี่ยนได้ตามความต้องการ ดังนั้น ไม่ส่งผลต่อต้นทุนและการดำเนินงานของหน้างานปกติ สรุปได้ว่า การปรับระดับปัจจัยตามผลการทดลอง ไม่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ

การคำนวณค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้า โดยราคาสินค้า และราคากาว 1 ชุด ซึ่งประกอบไปด้วย กาว Resin 1 หลอด และ กาว Hardener 1 หลอด แสดงดังนี้

- ราคาสินค้า 2,650 บาท
- ราคากาว 1 ชุด (กาว Resin และ กาว Hardener) 83 บาท

โดยปริมาณกาว 1 ชุด ระหว่าง กาว Resin และ กาว Hardener และปริมาณกาว 1 ชุด ที่สามารถใช้ในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ตามอัตราส่วนก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ แสดงได้ดังตาราง

ตารางที่ 4-10 ปริมาณกาว 1 ชุด ที่ใช้ในการประกอบ ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

กาว	กาว Resin	กาว Hardener	หน่วย
ปริมาณกาว 1 ชุด	17	17	มิลลิลิตร
	19.89	16.49	กรัม
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener 1 : 1	16.49	16.49	กรัม
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener 1 : 0.6	19.89	11.93	กรัม

ค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าก่อนปรับปรุง

อัตราส่วนกาว Resin : Hardener 1 : 1 โดยมวล ปริมาณกาว 8 มิลลิกรัม (ต่อด้าน)

- ปริมาณกาวที่ใช้ (สองด้านต่อชิ้นงาน) 16 มิลลิกรัม
- ปริมาณกาว Resin ผสม Hardener (16.49+16.49) 32.980 กรัม
- ปริมาณกาว Resin ผสม Hardener 32,980 มิลลิกรัม
- ราคากาว 1 มิลลิกรัม 0.0025 บาท
- ราคากาว 16 มิลลิกรัม 0.0404 บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าหลังปรับปรุง คิดเป็น 0.0015%

ค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าหลังปรับปรุง

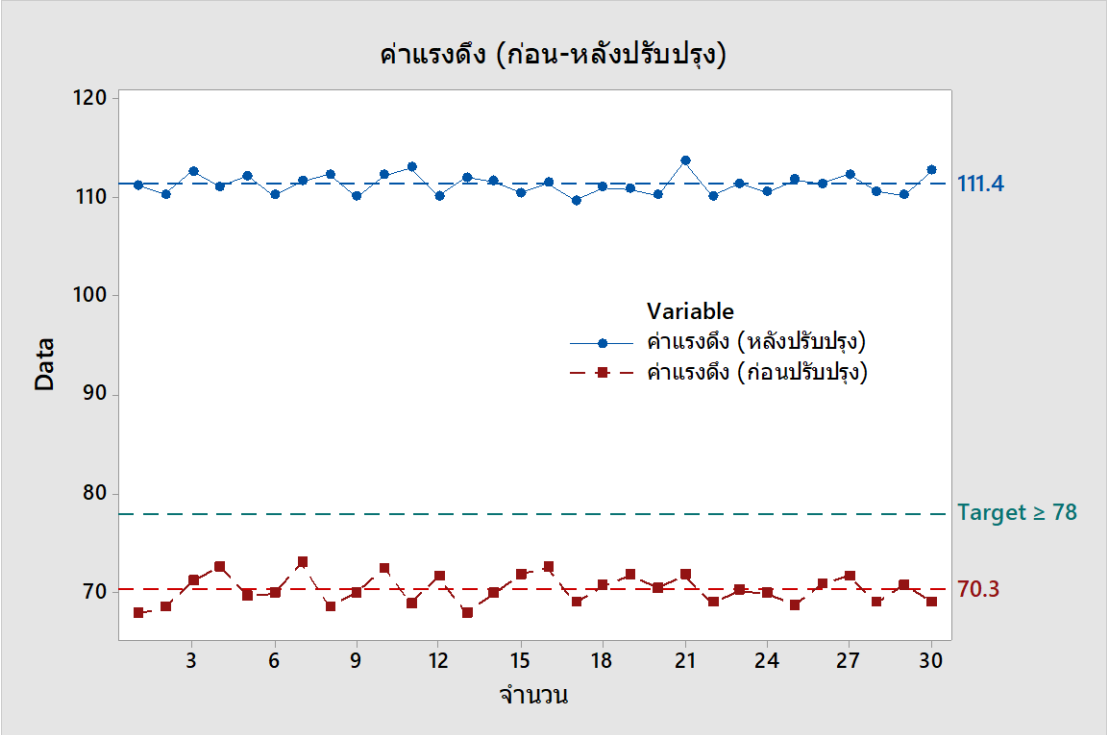
อัตราส่วนกาว Resin : Hardener 1 : 0.6 โดยมวล ปริมาณกาว 12 มิลลิกรัม (ต่อด้าน)

- ปริมาณกาวที่ใช้ (สองด้านต่อชิ้นงาน) 24 มิลลิกรัม
- ปริมาณกาว Resin ผสม Hardener (19.89+11.93) 31.824 กรัม
- ปริมาณกาว Resin ผสม Hardener 31,824 มิลลิกรัม
- ราคากาว 1 มิลลิกรัม 0.0026 บาท
- ราคากาว 24 มิลลิกรัม 0.0628 บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายของกาวต่อหน่วยราคาสินค้าหลังปรับปรุง คิดเป็น 0.0024%

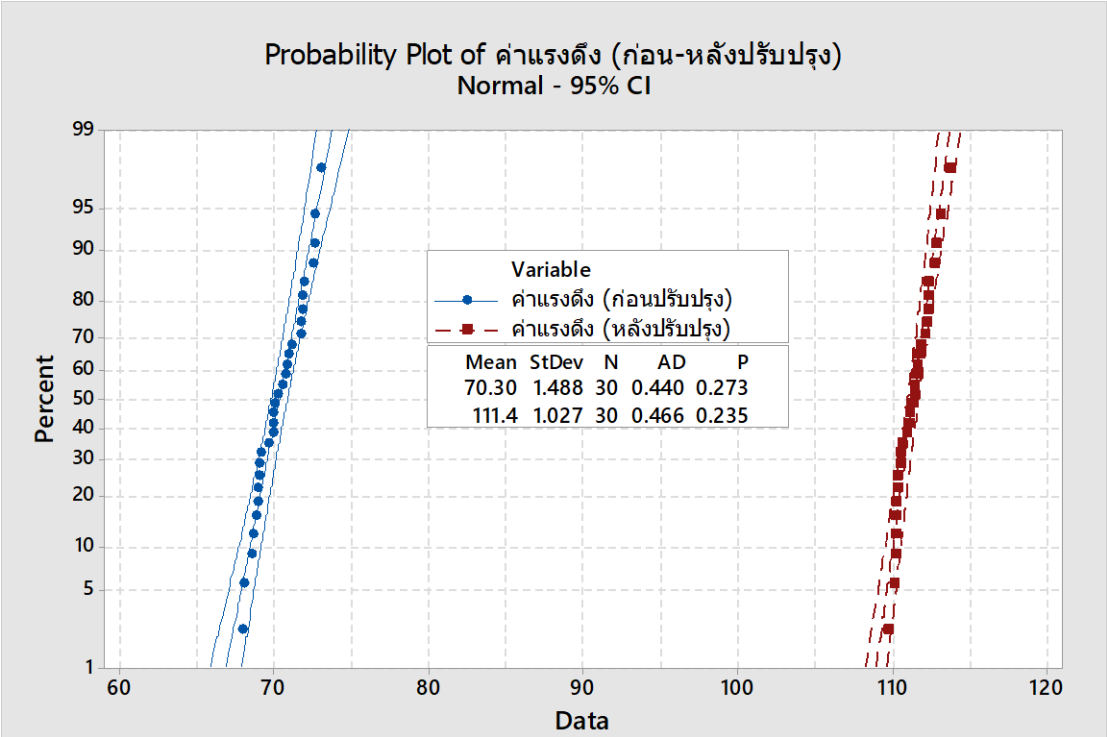
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นำค่าแรงดึงก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ มาแสดงในรูปแบบของกราฟเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังดังแสดงในรูป



รูปที่ 4-12 เปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง (ก่อน-หลังปรับปรุง)

จากรูป เปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังการปรับปรุง อธิบายได้ว่า เป้าหมายของค่าแรงดึงเฉลี่ย คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน เมื่อพิจารณาค่าแรงดึง (ก่อนปรับปรุง) เป็นการประกอบชิ้นงาน โดยมีการควบคุมการประกอบให้ตรงกับมาตฐานการผลิตในปัจจุบัน แล้วนำมาทดสอบค่าแรงดึง พบว่ามีค่าแรงดึงเฉลี่ย 70.3 นิวตัน ซึ่งยังน้อยกว่าเป้าหมาย ถัดมาเมื่อพิจารณาค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง) เป็นการประกอบชิ้นงาน โดยมีการปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามผลการทดลองและมีการควบคุมการประกอบ แล้วนำมาทดสอบค่าแรงดึง พบว่ามีค่าแรงดึงเฉลี่ย 111.4 นิวตัน ซึ่งมากกว่าเป้าที่กำหนด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากก่อนปรับปรุง 58.46% และ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากเป้าหมาย 42.82%

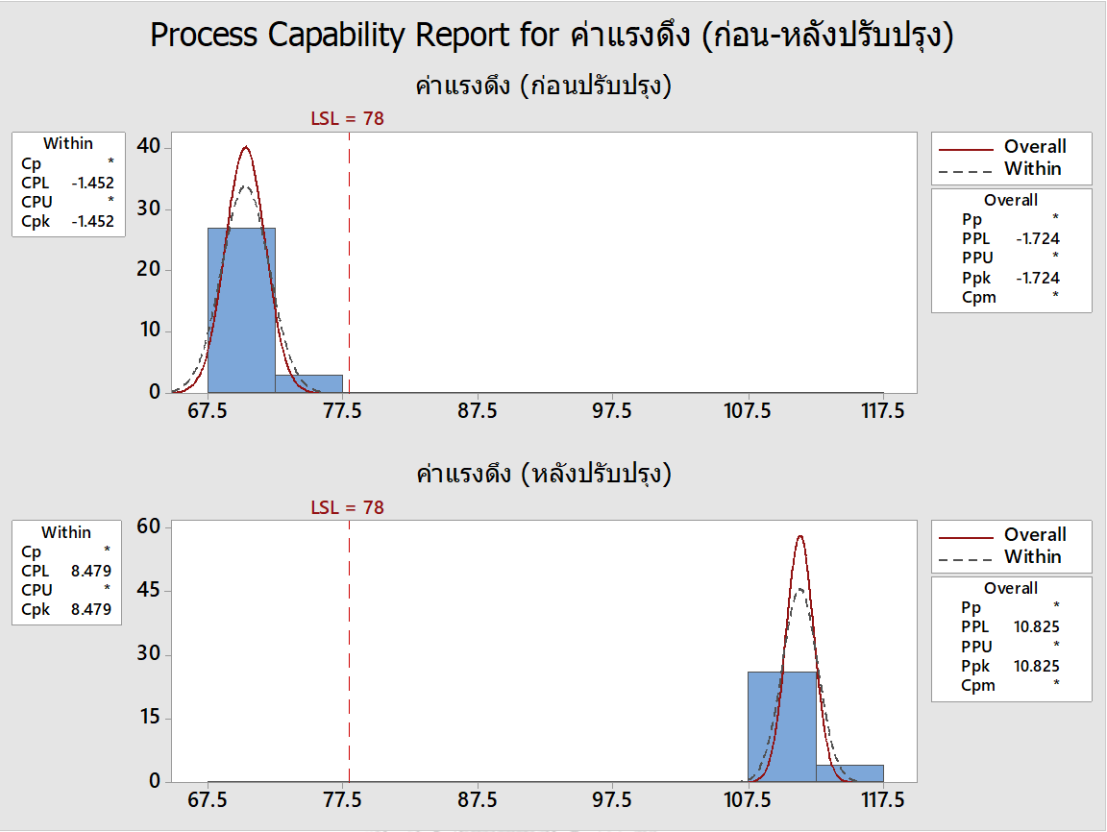


รูปที่ 4-13 กราฟการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ
เปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง (ก่อน-หลังปรับปรุง)

จากรูป กราฟการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ เป็นการทดสอบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) เปรียบเทียบค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ พบว่ากราฟมีการแจกแจงเป็นแนวเส้นตรง โดยเมื่อพิจารณา ค่าแรงดึง (ก่อนปรับปรุง) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.275 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นไปตามสมมติฐาน และเมื่อพิจารณา ค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.235 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นไปตามสมมติฐาน เช่นเดียวกัน

เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงดึง เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ พบว่า ค่าแรงดึง (ก่อนปรับปรุง) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงดึง อยู่ที่ 1.488 นิวตัน และเมื่อพิจารณา ค่าแรงดึง (หลังปรับปรุง) มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าแรงดึง อยู่ที่ 1.027 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่าก่อนปรับปรุง เป็นไปตามวัตถุประสงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-14 เปรียบเทียบค่าแรงดึงของการประกอยสร้อยข้อมือสายหนัง
(ก่อน-หลังปรับปรุง)

พิจารณา กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดึงของการประกอยสร้อยข้อมือสายหนัง ช่วงก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุง พบว่าก่อนปรับปรุง ค่าแรงดึงเฉลี่ยของสร้อยข้อมือสายหนังมีค่าน้อยกว่าเป้าหมาย โดยค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ -1.452 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 ที่เป็นเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมากไปทางด้านต่ำ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงค่าเฉลี่ยของแรงดึงให้สูงกว่าเป้าหมาย

หลังปรับปรุง ค่าแรงดึงเฉลี่ยของสร้อยข้อมือสายหนังมีค่ามากกว่าเป้าหมายเป็นอย่างมาก โดยค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ 8.479 ซึ่งมากกว่า 1.33 ที่เป็นเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการมีการเบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมากไปทางด้านมาก ถือว่าความสามารถของกระบวนการดีมาก ตรงตามวัตถุประสงค์

4.9 สรุปขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

ขั้นตอนของการยืนยันผลจำเป็นอย่างยิ่งในการยืนยันผลการทดลองที่ได้และป้องกันไม่ให้ค่าแรงดึงลดลง โดยทำควบคู่กับการออกมาตรการต่าง ๆ ในการควบคุมปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่าแรงดึง ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล) , ปริมาณกาว (มิลลิกรัม) และขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)

แนวทางในการควบคุมปัจจัย สามารถทำได้โดยการจัดทำคู่มือการปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมให้กับพนักงาน โดยระบุรายละเอียดในการทำงานอย่างชัดเจน มีการทวนสอบความรู้ความเข้าใจในการทำงานของพนักงาน ทำการตรวจสอบหน้างานร่วมไปกับพนักงาน รวมถึงการจัดฝึกอบรมพนักงานเพื่อให้พนักงานตระหนักและเข้าใจในแนวทางการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ จากกนั้นมีการระดมความคิดและวิเคราะห์ร่วมกันโดยทีมผู้เชี่ยวชาญ โดยการวิเคราะห์หาสาเหตุข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) หลังการปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบค่าความเสี่ยง พบว่าค่าความเสี่ยงหลังปรับปรุงมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดในทุกปัจจัย สามารถนำผลการทดลองเพื่อยืนยันผลไปใช้ในการสรุปงานวิจัยได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ทางผู้วิจัยได้ทำการสรุปภาพรวมของงานวิจัย โดยแยกเป็นหัวข้อ สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ทำการเลือกหัวข้อในการวิจัย จากการพิจารณาเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า (Return Material Authorization, RMA) พ.ศ.2558 ถึง ปี พ.ศ.2562 พบว่าข้อร้องเรียนจากลูกค้า มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยสร้อยข้อมือสายหนัง เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้ามากที่สุด ซึ่งอาการงานเสีย คือ การประกอบหลุด จะเป็นการประกอบหลุดระหว่างแผ่นสเตนเลสที่มีการบีบกับเข้ากับสายหนัง กับฝาท้ายชิ้นงาน

ซึ่งงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลเพิ่มค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังที่ได้จากการระดมความคิดและวิเคราะห์โดยผู้ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องประดับซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานด้านนี้โดยตรงจำนวน 10 คน ได้แก่ ผู้จัดการฝ่ายผลิตผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ วิศวกรฝ่ายผลิต หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ หัวหน้าแผนก กระบวนการประกอบ และพนักงานแผนกกระบวนการประกอบ ร่วมกันวิเคราะห์โดยใช้ผังก้างปลา (Cause and effect diagram) พบว่าปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังมีจำนวนทั้งหมด 21 ปัจจัย จากนั้นจึงได้นำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์ต่อด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) จากการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งนำมาจัดเรียงตามลำดับคะแนนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่า ปัจจัยที่มีค่าความเสี่ยงสูงโดดเด่นที่สุด ที่มีสัดส่วนน้ำหนัก 80% ซึ่งคาดว่ามีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังเป็นอย่างมาก มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนกาวไม่เหมาะสม, ขนาดหัวบีบไม่เหมาะสม และปริมาณกาวไม่เหมาะสม จึงได้ทำการสรุปค่าความเสี่ยงของปัจจัยที่ได้ทำการคัดเลือกมา 3 ลำดับแรกนี้ มาใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial design) ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมจำนวนการทดลองทั้งสิ้น 54 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลอง จะทำการทดลองครั้งละ 10 ตัวอย่าง ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักต่อค่าแรงดึงในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว, ขนาดหัวบีบ และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงในการประกอบสร้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ข้อมือสายหนังที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว หลัก เมื่อทราบถึงปัจจัยที่อิทธิพลผลต่อค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนัง อย่างมีนัยสำคัญแล้ว จากนั้นทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง พบว่าค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมและทำให้ค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังอยู่ในค่าแรงดึงเป้าหมายคือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 โดยมวล, ปริมาณกาว ที่ 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ ที่ 2.7 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง มาทำการดำเนินการใช้ในสภาวะการทำงานจริง เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้ พร้อมทั้งมีแนวทางในการควบคุมการประกอบสายหนังให้เป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้ และทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) หลังการปรับปรุง เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองอีกครั้ง อธิบายได้ว่า เมื่อนำค่าที่ได้จากการวิจัยมาทำการทดลองปรับใช้ในสภาวะการทำงานจริง และทำการดำเนินงานภายใต้มาตรการต่าง ๆ ที่ได้กำหนดขึ้น สรุปได้ว่าการปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามการออกแบบการทดลอง สามารถเพิ่มค่าแรงดึงเฉลี่ยตรงตามเป้าหมายคือ มากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน โดยจากก่อนปรับปรุงค่าแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 70.30 นิวตัน เป็น 111.40 นิวตัน ที่หลังปรับปรุง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากก่อนปรับปรุง 58.46% และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากเป้าหมาย 42.82%

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรจัดอบรมพนักงานอยู่เสมอ โดยนำภาพของงานเสียของสินค้าที่มีการรับคืนจากลูกค้ามาแสดงประกอบการจัดอบรม เพื่อสร้างความตระหนักให้กับพนักงาน ได้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้น หากไม่ใส่ใจในการทำงานหรือปล่อยปะละเลย จนสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานหลุดลอดไปถึงมือลูกค้า จะเกิดผลเสียอย่างไรต่อตัวพนักงานเองและต่อบริษัท
2) เนื่องจากในโรงงานกรณีศึกษาผลิตสร้อยข้อมือสายหนังหลากหลายประเภท ซึ่งมีขั้นตอนการประกอบเหมือนกัน มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่คล้ายกัน ซึ่งสามารถที่จะนำวิธีการออกแบบการทดลอง ที่ได้จากการวิจัยนี้ ไปปรับใช้เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการประกอบ ให้เหมาะสมกับการทำงาน เพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดได้
3) เนื่องจาการปรับปรุงค่าแรงดึงให้มากขึ้น คาดว่าส่งผลให้เกิดของเสียการประกอบหลุดลดลง ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนติดตามเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้าหลังจากปรับปรุง เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การรับคืนสินค้าจากลูกค้า และเป็นการยืนยันผลในอีกระดับหนึ่ง

ภาคผนวก ก
ข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy ที่ใช้

HUNTSMAN
Enriching lives through innovation

DIY Adhesives

Araldite® Standard
Two component epoxy adhesive

Other commercial names

- Araldite® Progressive
- Araldite® Precision
- Araldite® Extra Strong

Key properties

- Multi purpose
- Long working life
- Low shrinkage
- Good resistance to dynamic loading
- Bonds a wide variety of materials in common use

Description

Araldite® Standard is a multipurpose, two component, room temperature curing, adhesive of high strength and toughness. It is suitable for bonding a wide variety of metals, ceramics, glass, rubber, rigid plastics and most other materials in common use. It is a versatile adhesive for the craftsman as well as most industrial applications.

Product data

Property	Araldite® Standard Resin	Araldite® Standard Hardener	Araldite® Standard mixed
Colour (visual)	neutral	pale yellow	pale yellow
Specific gravity	ca. 1.17	ca. 0.97	ca. 1.07
Viscosity at 25°C (Pas)	30 - 50	20 – 40	30 - 45
Pot Life (100 g at 25°C)	-	-	100 – 150 minutes

Processing

Pretreatment

The strength and durability of a bonded joint are dependant on proper treatment of the surfaces to be bonded.
At the very least, joint surfaces should be cleaned with a good degreasing agent such as acetone, iso-propanol (for plastics) or proprietary degreasing agent in order to remove all traces of oil, grease and dirt.
Low grade alcohol, gasoline (petrol) or paint thinners should never be used.
The strongest and most durable joints are obtained by either mechanically abrading or chemically etching ("pickling") the degreased surfaces. Abrading should be followed by a second degreasing treatment.

Mix ratio	Parts by weight	Parts by volume
Araldite® Standard Resin	100	100
Araldite® Standard Hardener	80	100

Application of adhesive

The resin/hardener mix is applied directly or with a spatula to the pretreated and dry joint surfaces.
A layer of adhesive 0.05 to 0.10 mm thick will normally impart the greatest lap shear strength to the joint. Huntsman stresses that proper adhesive joint design is also critical for a durable bond. The joint components should be assembled and secured in a fix position as soon as the adhesive has been applied.

Equipment maintenance

All tools should be cleaned with hot water and soap before adhesives residues have had time to cure. The removal of cured residues is a difficult and time-consuming operation.
If solvents such as acetone are used for cleaning, operatives should take the appropriate precautions and, in addition, avoid skin and eye contact.

Times to minimum shear strength

Temperature	°C	23
Cure time to reach	hours	6
LSS > 1MPa	minutes	
Cure time to reach	hours	10
LSS > 10MPa	minutes	

LSS = Lap shear strength.

รูปที่ ก1 ข้อมูลด้านเทคนิคสำหรับกาว Epoxy ที่ใช้

ภาคผนวก ข
ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ข1 ค่าแรงดึงของชิ้นงานสร้อยข้อมือสายหนัง ในคลังสินค้าในปัจจุบัน ก่อนปรับปรุง

ลำดับ	ชิ้นที่	ตำแหน่ง	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	1	หัว	34.53
2	1	ท้าย	44.07
3	2	หัว	50.58
4	2	ท้าย	37.28
5	3	หัว	16.08
6	3	ท้าย	41.77
7	4	หัว	39.45
8	4	ท้าย	34.86
9	5	หัว	77.76
10	5	ท้าย	39.93
11	6	หัว	57.43
12	6	ท้าย	55.37
13	7	หัว	59.19
14	7	ท้าย	48.51
15	8	หัว	57.04
16	8	ท้าย	69.97
17	9	หัว	65.76
18	9	ท้าย	22.15
19	10	หัว	56.74
20	10	ท้าย	47.63
ค่าเฉลี่ย			**47.80**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			**15.33**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข2 ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 1 โดยมวล

การทดลองครั้งที่	ลำดับ	B = 4 มิลลิกรัม			B = 8 มิลลิกรัม			B = 12 มิลลิกรัม		
		C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร
1	1	52.35	40.84	40.12	82.88	70.89	66.91	90.28	70.12	67.05
	2	53.72	39.58	37.23	81.61	70.68	65.54	88.71	71.94	66.25
	3	53.57	39.29	37.49	83.64	69.66	67.23	88.22	71.56	66.22
	4	54.26	39.34	37.80	80.61	68.13	65.96	89.12	70.09	68.43
	5	51.12	39.29	38.05	82.52	72.25	65.15	90.69	70.11	67.55
	6	53.68	38.81	37.36	82.62	69.89	65.79	88.87	72.26	66.12
	7	53.29	38.63	37.19	80.81	70.44	67.40	89.84	72.40	68.16
	8	53.58	40.63	38.07	82.00	70.69	65.04	88.13	72.26	67.37
	9	51.47	37.89	37.09	83.33	67.48	67.39	90.35	70.15	69.32
	10	53.73	37.86	39.11	82.57	71.11	66.56	87.34	70.29	66.52
	ค่าเฉลี่ย (1)	53.08	39.22	37.95	82.26	70.12	66.30	89.16	71.12	67.30
	SD (1)	1.06	0.99	0.97	1.00	1.42	0.92	1.11	1.04	1.08

ตารางที่ ข2 (ต่อ) ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 1 โดยมวล

การทดลองครั้งที่	ลำดับ	B = 4 มิลลิกรัม			B = 8 มิลลิกรัม			B = 12 มิลลิกรัม		
		C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร
2	1	51.08	40.02	35.38	80.22	68.98	64.11	90.32	69.70	66.84
	2	50.84	38.48	35.13	81.13	70.46	64.16	87.30	70.79	64.82
	3	54.01	41.05	33.92	82.07	69.59	65.61	89.23	71.21	66.22
	4	52.23	38.14	34.85	83.82	68.54	64.28	87.89	70.89	65.88
	5	52.45	38.18	34.55	82.95	69.95	65.66	88.90	72.62	65.32
	6	51.42	40.11	36.36	81.63	71.42	64.29	88.41	70.54	65.62
	7	52.73	39.12	34.52	82.42	68.89	66.82	87.07	68.42	65.29
	8	54.10	38.36	36.48	83.11	68.60	66.03	87.52	70.45	67.56
	9	54.35	39.19	35.49	81.69	68.95	66.43	87.26	71.89	66.97
	10	52.78	38.44	37.05	80.85	71.09	64.45	88.98	69.98	67.31
	ค่าเฉลี่ย (2)	52.60	39.11	35.37	81.99	69.65	65.18	88.29	70.65	66.18
	SD (2)	1.26	0.99	0.99	1.11	1.04	1.04	1.06	1.16	0.94

หมายเหตุ B คือ ปริมาณกาว (มิลลิกรัม); C คือ ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร); SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข3 ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 0.8 โดยมวล

การทดลองครั้งที่	ลำดับ	B = 4 มิลลิกรัม			B = 8 มิลลิกรัม			B = 12 มิลลิกรัม		
		C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร
1	1	70.14	58.12	56.73	88.71	75.86	71.01	92.19	77.05	73.43
	2	72.12	58.27	54.33	88.62	74.71	70.23	89.57	76.26	74.48
	3	71.89	57.01	56.16	88.44	75.82	71.18	90.45	76.46	71.27
	4	71.06	60.01	54.74	86.99	76.93	72.59	90.01	74.41	71.66
	5	70.01	60.23	56.44	88.28	73.97	73.08	91.61	76.07	73.37
	6	70.02	59.09	55.63	88.40	74.93	70.15	90.38	73.14	72.63
	7	70.66	57.66	55.93	87.48	76.16	71.39	91.35	75.84	74.20
	8	71.02	60.44	54.82	86.64	75.95	70.26	89.93	75.44	72.73
	9	71.44	58.28	54.96	88.87	74.20	71.07	89.97	76.31	72.02
	10	72.69	58.87	56.79	89.46	75.86	70.83	91.79	74.63	74.00
	ค่าเฉลี่ย (1)	71.11	58.80	55.65	88.19	75.44	71.18	90.73	75.56	72.98
	SD (1)	0.93	1.15	0.89	0.88	0.94	0.98	0.92	1.18	1.10

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข3 (ต่อ) ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 0.8 โดยมวล

การทดลองครั้งที่	ลำดับ	B = 4 มิลลิกรัม			B = 8 มิลลิกรัม			B = 12 มิลลิกรัม		
		C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร
2	1	69.08	59.47	53.18	88.68	73.30	70.81	93.16	73.44	70.20
	2	69.04	59.05	53.74	88.16	74.45	69.25	90.73	75.14	73.19
	3	70.05	58.80	54.02	86.30	74.76	68.35	90.17	74.37	70.33
	4	69.83	58.98	52.96	87.39	74.49	70.98	91.44	75.84	70.19
	5	70.11	58.04	55.86	88.09	75.98	69.99	92.18	74.17	71.34
	6	71.91	59.87	52.18	86.41	76.58	70.18	93.18	74.28	71.11
	7	70.38	60.64	52.21	87.04	75.45	68.56	92.60	74.32	72.27
	8	68.47	59.36	53.92	87.93	73.54	70.43	91.88	74.71	70.16
	9	71.26	58.58	54.66	85.49	74.22	68.59	90.12	75.66	71.41
	10	70.45	57.27	53.81	88.96	76.39	68.23	92.27	72.63	70.12
	ค่าเฉลี่ย (2)	70.06	59.01	53.65	87.45	74.92	69.54	91.77	74.46	71.03
	SD (2)	1.04	0.94	1.11	1.12	1.14	1.06	1.13	0.97	1.05

หมายเหตุ B คือ ปริมาณกาว (มิลลิกรัม); C คือ ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร); SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ ข4 ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 0.6 โดยมวล

การทดลองครั้งที่	ลำดับ	B = 4 มิลลิกรัม			B = 8 มิลลิกรัม			B = 12 มิลลิกรัม		
		C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร
1	1	88.85	75.29	70.12	101.17	92.32	86.15	110.29	94.49	87.44
	2	87.92	74.33	70.87	99.78	94.55	86.60	113.45	93.82	87.71
	3	86.24	73.29	69.39	101.95	93.59	87.01	113.36	93.49	88.14
	4	86.63	75.24	69.38	101.42	95.64	88.82	112.39	94.59	89.04
	5	86.35	75.41	70.07	102.06	92.69	88.25	112.37	94.38	87.33
	6	88.78	74.14	68.62	101.71	93.21	86.87	113.13	91.88	88.66
	7	88.57	74.69	68.44	102.78	93.98	87.27	112.11	94.48	86.92
	8	86.88	75.35	67.57	99.98	94.07	87.80	112.46	94.95	86.92
	9	87.81	74.03	69.41	100.57	92.20	86.53	112.81	95.72	90.20
	10	88.43	72.99	67.80	100.36	93.69	86.25	110.11	94.42	87.79
	ค่าเฉลี่ย (1)	87.65	74.48	69.17	101.18	93.59	87.16	112.25	94.22	88.02
	SD (1)	1.03	0.87	1.06	0.98	1.05	0.88	1.17	1.02	1.03

ตารางที่ ข4 (ต่อ) ข้อมูลแรงดึงที่ได้จากการทดลองของปริมาณกาวและขนาดหัวบีบต่าง ๆ ที่อัตราส่วนกาว 1 : 0.6 โดยมวล

การทดลองครั้งที่	ลำดับ	B = 4 มิลลิกรัม			B = 8 มิลลิกรัม			B = 12 มิลลิกรัม		
		C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร	C = 2.7 มิลลิเมตร	C = 2.8 มิลลิเมตร	C = 2.9 มิลลิเมตร
2	1	85.64	73.76	71.60	100.98	93.69	88.64	113.34	92.14	89.13
	2	86.60	74.18	69.33	103.05	92.12	86.35	115.31	92.23	87.35
	3	85.94	75.15	70.73	102.47	92.11	85.96	114.31	94.73	89.41
	4	85.99	76.59	69.24	100.68	92.35	88.50	113.89	92.87	89.16
	5	86.53	76.79	70.15	100.55	91.92	87.87	113.65	94.33	88.53
	6	87.94	75.81	69.05	102.84	92.38	87.34	112.08	93.48	87.22
	7	88.07	75.55	69.74	101.10	92.66	88.69	113.13	94.89	87.19
	8	86.24	74.50	68.52	102.78	90.43	86.88	112.07	94.81	87.88
	9	87.38	75.43	70.46	103.18	91.49	86.65	114.17	93.31	89.14
	10	86.21	76.01	69.18	100.33	90.98	86.84	112.05	94.37	87.28
	ค่าเฉลี่ย (2)	86.65	75.38	69.80	101.80	92.01	87.37	113.40	93.72	88.23
	SD (2)	0.85	1.00	0.93	1.16	0.90	1.00	1.09	1.06	0.94

หมายเหตุ B คือ ปริมาณกาว (มิลลิกรัม); C คือ ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร); SD คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข5 ค่าแรงดึงตามผลระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง หลังปรับปรุง

ลำดับ	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	1 : 0.6	12	2.7	104.30
2	1 : 0.6	12	2.7	102.12
3	1 : 0.6	12	2.7	104.67
4	1 : 0.6	12	2.7	99.10
5	1 : 0.6	12	2.7	110.23
6	1 : 0.6	12	2.7	106.24
7	1 : 0.6	12	2.7	108.66
8	1 : 0.6	12	2.7	114.35
9	1 : 0.6	12	2.7	117.13
10	1 : 0.6	12	2.7	118.34
11	1 : 0.6	12	2.7	114.10
12	1 : 0.6	12	2.7	118.22
13	1 : 0.6	12	2.7	119.06
14	1 : 0.6	12	2.7	118.70
15	1 : 0.6	12	2.7	117.49
16	1 : 0.6	12	2.7	111.56
17	1 : 0.6	12	2.7	114.22
18	1 : 0.6	12	2.7	107.09
19	1 : 0.6	12	2.7	107.93
20	1 : 0.6	12	2.7	106.24
21	1 : 0.6	12	2.7	104.67
22	1 : 0.6	12	2.7	108.17
23	1 : 0.6	12	2.7	115.43
24	1 : 0.6	12	2.7	115.56
25	1 : 0.6	12	2.7	111.80

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข5 (ต่อ) ค่าแรงดึงตามผลระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง หลังปรับปรุง

ลำดับ	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener (โดยมวล)	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
26	1 : 0.6	12	2.7	119.43
27	1 : 0.6	12	2.7	114.35
28	1 : 0.6	12	2.7	112.65
29	1 : 0.6	12	2.7	116.28
30	1 : 0.6	12	2.7	112.77
ค่าเฉลี่ย				**111.40**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				**1.027**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press.

Douglas C. Montgomery. (2012). *Design and Analysis of Experiments* John Wiley & Sons, Inc.

Lwanga, S. K., Lemeshow, S., & Organization, W. H. (1991). *Sample size determination in health studies: a practical manual*. World Health Organization.

Narang, A., Ben-Zvi, A., Afacan, A., Sharp, D., Shah, S. L., & Huang, B. (2012). Undergraduate design of experiment laboratory on analysis and optimization of distillation column. *Education for Chemical Engineers*, 7(4), e187-e195.

Shields J. . (1974). *Adhesive Bonding*. Oxford University Press.

กิจชัย จิตขจรวานิช. (2549). กาว. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ประจำ ปีการศึกษา 2549-2550, 93-110.

ชวัล เลิศกำธรชัย. (2561). การหาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการเชื่อมเหนี่ยวนำแบบจุดของฝาถังน้ำมันโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครหนือ].

ทศพล เกียรติเจริญผล. (2538). การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกโดยวิธีออกแบบการทดลอง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ธีรศักดิ์ จันทร์กระจ่าง. (2551). อำนาจการทดสอบ (*Power of Test)* ของวิธีการเปรียบเทียบ ตามข้อตกลงความแปรปรวนวิวิธพันธ์ของข้อมูลที่แจกแจงต่างกัน และขนาดกลุ่มตัวอย่างต่างกัน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ].

นพรัตน์ ไทยวัฒนาพร. (2548). การใช้อีพอกซีในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ (Publication Number ISBN 974-17-4812-4) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์. (2562). การปรับปรุงคุณภาพ.

นิคม ถนอมเสียง. (2551). การคำนวณขนาดตัวอย่าง *Sample Size Determination*.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรเทพ ลาภธุวะศิริ. (2544). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการลดของเสีย กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

พิทักษ์ชน วิเศษ. (2556). การลดของเสียการผลิตชิ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลอง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

รณชัย ไม้สนธิ์. (2553). การลดของเสียจากการอบยางในกระบวนการผลิตยางรถโดยใช้เทคนิค *FMEA* จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

วรงค์พร บุณยมานนท์. (2556). การกำหนดปัจจัยการผลิตถ้วยพลาสติกด้วยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาโรงงานผลิตพลาสติกบรรจุภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครหนือ].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วรรณฤดี อินทนะนก. (2558). การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดของเสียในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

วาสนา ช่อมะลิ. (2555). การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล่อยยาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

สมบัติ สุขนิจ. (2548). การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

สิริธร แก้วกล่ำ. (2549). การผสมของน้ำยางธรรมชาติกับกาวพอลิยูรีเทนเพื่อใช้ติดยางวัลคาไนซ์กับหนังสังเคราะห์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์]. http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2553/2289

สุรชัย จันทร์เถื่อน. (2560). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณของเสียประเภทฉีดไม่เต็มแบบ ในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครหนือ].

อลงกต กาญจนคช. (2538). การปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ว่าที่ ร.ต.หญิงปิ่ณชณัณ สุวรรณชนะ
วัน เดือน ปี เกิด	7 สิงหาคม 2535
สถานที่เกิด	นนทบุรี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าฯ พระนครเหนือ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และได้เข้ารับการศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2562 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกร บริษัทผลิตเครื่องประดับ
ที่อยู่ปัจจุบัน	64/307 ม.ศุภาลัย ไพร์ด บางนา-วงแหวน ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
ผลงานตีพิมพ์	วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 28 เล่มที่ 2 พฤษภาคม - สิงหาคม 2564

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University