



การปรับปรุงความแข็งแรงของสร้อยข้อมือสายหนัง โดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง

Strength improvement of leather bracelet by utilizing experimental design

ปีณชนัน สุวรรณชนะ^{1,*} และ สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ^{2,*}

Pinchanan Suwanchana^{1,*} and Somkiat Tangjitsitcharoen^{2,*}

^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถ.พญาไท เขตปทุมวัน แขวงวังใหม่ กรุงเทพมหานคร 10330

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Pathumwan, Bangkok, 10330, Thailand

*E-mail: ¹Pinchanan.su@gmail.com, ²Somkiat.ta@eng.chula.ac.th, Tel.: 02-218-6337

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังให้ตรงตามเป้าหมาย คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน เพื่อลดของเสียการประกอบหลุดในผลิตภัณฑ์สร้อยข้อมือสายหนัง ซึ่งมีสัดส่วนของเสียมากที่สุด โดยการวิจัยเริ่มจากการระดมความคิดและวิเคราะห์โดยผู้ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องประดับซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานโดยตรงร่วมกัน ทำการวิเคราะห์โดยใช้ผังก้างปลา (Cause and effect diagram) จากนั้นจึงได้นำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์ด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) จากการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งนำมาจัดเรียงตามลำดับคะแนนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) และทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีค่าความเสี่ยงสูง ที่มีสัดส่วนน้ำหนักร้อยละ 80 ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ขนาดหัวบีบ และปริมาณกาว ซึ่งคาดว่ามียุทธพลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสายหนังเป็นอย่างมาก มาใช้ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) โดยทำการทดลอง 3 ปัจจัย โดยปัจจัยละ 3 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง การทดลองครั้งละ 10 ชิ้น จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่ให้ค่าแรงดึงที่มากที่สุดคือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6, ปริมาณกาว 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ 2.7 มิลลิเมตร จากผลการดำเนินการปรับปรุงพบว่า สามารถเพิ่มค่าแรงดึงเฉลี่ยตรงตามเป้าหมาย โดยก่อนปรับปรุงค่าแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 70.30 นิวตัน เพิ่มขึ้นเป็น 111.40 นิวตัน ที่หลังปรับปรุง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากก่อนปรับปรุง 58.46%

คำสำคัญ: ปัจจัย; การลดลง; การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ; การประกอบหลุด

ABSTRACT

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. Next, the Cause and effect diagram was used, 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. According to the Risk Priority Number, the number was classified and showed on a Pareto Diagram. Consequently, the factors that account for 80 percent are a ratio of glue mixing Resin to Hardener, the amount of glue and the size of crimp tool. It seems that there is a significant influence on the tensile strength; therefore, the researchers brought these factors to design an experiment. In addition, the 3^k factorial experimental design was used as a method in this research. The experiments were tested 3 factors, 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 with highest tensile strength used in standard-setting was a ratio of glue mixing Resin to Hardener as 1 : 0.6, the amount of glue as 12 grams and the size of crimp tool as 2.7 millimeter. Moreover, 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.

Keywords: factor; reduction; 3^k factorial experimental design; assembly failure

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องประดับมีการแข่งขันในตลาดอุตสาหกรรมที่สูง และสถานการณ์เศรษฐกิจค่อนข้างซบเซา ทำให้ภาพรวมของธุรกิจเครื่องประดับนั้นได้รับผลกระทบ เนื่องจากเครื่องประดับเป็นสินค้าในกลุ่มแฟชั่นถือว่าเป็นกลุ่มสินค้าฟุ่มเฟือย ซึ่งการตัดสินใจซื้อส่วนใหญ่จึงไม่ได้มาจากประโยชน์ใช้สอย แต่มาจากความพึงพอใจเป็นหลัก ดังนั้นในส่วนของโรงงานผลิต จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและปรับปรุงในเรื่องของคุณภาพของสินค้า เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ซึ่งจะนำไปสู่ความยั่งยืนขององค์กร

โรงงานกรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเครื่องประดับมีการผลิตสินค้าหลากหลายกลุ่มผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพ ได้แก่ สร้อยข้อมือประเภทสายหนัง เนื่องจากเกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้า โดยมีร้อยละการรับคืนสินค้าจากลูกค้าที่ได้ทำการซื้อสินค้าที่สูงที่สุด อันมีสาเหตุมาจากสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากกัน

โดยลักษณะการหลุดที่พบ จะเป็นการหลุดระหว่างแผ่นสแตนเลส ที่มีการบีบกับเข้ากับสายหนัง กับฝาท้ายของชิ้นงาน โดยจะเป็นการยึดเกาะด้วยกาว แสดดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการประกอบหลุด

ซึ่งร้อยละการรับคืนสินค้าจากลูกค้าคิดเป็น 16.63 ส่งผลให้เกิดความสูญเสียในแง่ของเวลาสูญเสีย ค่าใช้จ่ายแรงงานที่เพิ่มขึ้นและความพึงพอใจในสินค้าของลูกค้าลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเน้นที่การปรับปรุงความแข็งแรงของสร้อยข้อมือสายหนังด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อลดต้นทุนความสูญเสียที่เกิดขึ้นและสร้างความพึงพอใจในสินค้า

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยได้นำมาเรียบเรียง ดังต่อไปนี้

2.1 เทคนิคการควบคุมคุณภาพ [1,2]

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์การจัดการควบคุมคุณภาพ 3 ข้อ ได้แก่

1. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) ใช้สำหรับตรวจสอบปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นว่าปัญหาใดเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดและรองลงไปตามลำดับ โดยนำปัญหาหรือสาเหตุเหล่านั้น มาจัดหมวดหมู่หรือแบ่งแยกประเภทแล้ว เรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปหาน้อย

2. ผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา (Cause and effect diagram) [3] ใช้วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของข้อผิดพลาด โดยใช้การระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานนั้น วิเคราะห์จนพบสาเหตุที่แท้จริง

3. แผนภูมิควบคุม (Statistical Process Control Chart) เป็นการวิเคราะห์ค่าทางสถิติหรือตัวชี้วัดเพื่อแสดงถึงระดับความสามารถของกระบวนการหรือระดับคุณภาพของงาน

2.2 เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis) [4]

เป็นการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกัน (Preventive approach) สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยพิจารณาความเป็นไปได้ในการการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาสาเหตุและผลกระทบจากข้อบกพร่องนั้น ๆ หลังจากนั้นก็จะทำการกำหนดวิธีการตรวจสอบและบ่งชี้ข้อบกพร่อง วิธีการที่เป็นระบบ (systematic approach) ในการในการตรวจหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นและป้องกันข้อบกพร่องดังกล่าวมิให้เกิดขึ้น ทำให้วิศวกรสามารถคาดการณ์ปัญหาและมีระบบในการจัดอันดับหรือจัดความสำคัญก่อน-หลัง ดังนั้นจึงสามารถดำเนินการกับข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดได้

การประเมินตัวเลขแสดงค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) โดยพิจารณาจากทั้ง 3 ประการ คือ

- ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S)
- โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O)
- การตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (D)

โดยตัวเลขแสดงค่าความเสี่ยง $RPN = S \times O \times D$

2.3 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment) [5-9]

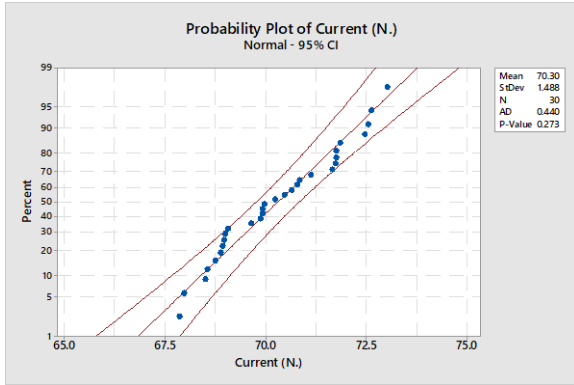
เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ ปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งมีหลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง [10] แบ่งออกเป็น 3 ประการ ดังนี้ 1.การทำซ้ำ (Replication) 2.การทำแบบสุ่ม (Randomization) 3.การบล็อก (Blocking) [11] โดยทำการเลือกตัวแบบการทดลอง (Design) ปัจจัย (factors) และระดับของปัจจัย (Level of factors) เพื่อทดสอบว่าปัจจัยที่มีในกระบวนการผลิตมีอิทธิพลหรืออิทธิพลระหว่างกันของปัจจัย ความสัมพันธ์ต่อผลที่ได้จากการผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับเป็นการทดลองกรณีที่มีแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับปานกลาง และระดับสูง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) ซึ่งใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) มีดังนี้

3.1 การกำหนดปัญหา (Problem Identification)

จากปัญหาสร้อยข้อมือสายหนึ่งหลุดออกจากกัน ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทวนสอบค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนึ่งในปัจจุบัน โดยการควบคุมกระบวนการ ให้ตรงตามมาตรฐานการผลิตปัจจุบัน ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแรงดึง 30 ชิ้น โดยผลการทดสอบ อธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 2 Probability Plot ค่าแรงดิ่งงานปัจจุบัน

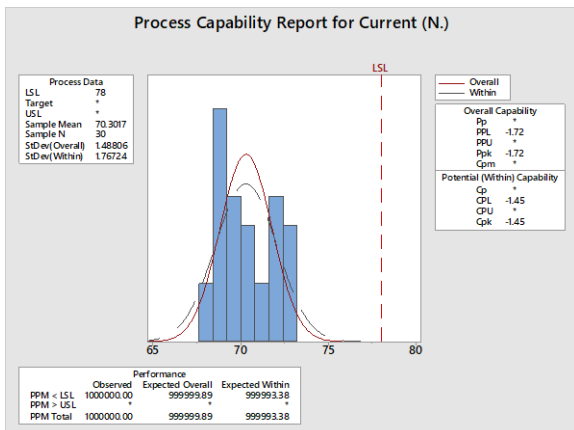
พิจารณากราฟ Probability Plot หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และยอมรับสมมติฐาน H_0 โดยสมมติฐาน คือ

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดการยอมรับความผิดพลาดที่ 5% ($\alpha = 0.05$) ดังนั้น เมื่อ $P\text{-Value} > \alpha$ จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

เมื่อพิจารณากราฟ Probability Plot แสดงดังรูปที่ 2 พบว่ากราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และค่า P-Value มีค่า 0.273 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 สรุปได้ว่ากระบวนการนี้ข้อมูลแจกแจงแบบปกติ สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการได้



รูปที่ 3 Process Capability ค่าแรงดิ่งงานปัจจุบัน

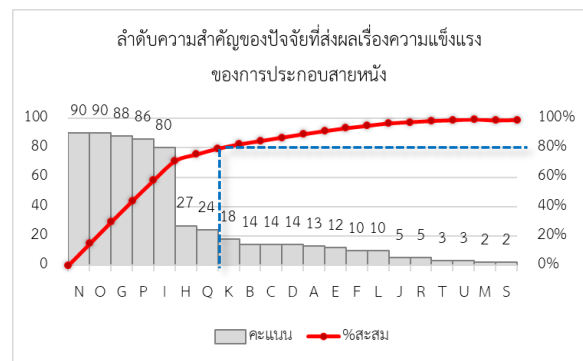
พิจารณากราฟ Process Capability ดังรูปที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงดิ่งปัจจุบันมีค่า 70.30 นิวตัน ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดิ่งเป้าหมาย คือมากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน

เมื่อพิจารณาระดับความผันแปรของกระบวนการพบว่า มีค่า C_{pk} มีค่าเท่ากับ -1.45 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 ที่เป็นเกณฑ์การยอมรับที่กำหนด แสดงถึงว่าระดับความผันแปรของกระบวนการมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ แต่ความสามารถของกระบวนการยังอยู่ในระดับที่ยอมรับไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงค่าเฉลี่ยของแรงดิ่งให้มากกว่าหรือเท่ากับค่าเป้าหมาย

3.2 การกำหนดปัจจัย (Factors Identification) [12]

จากการระดมความคิด จากทีมผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของแผนกกระบวนการประกอบโดยตรง รวมทั้งสิ้น 10 ท่าน โดยใช้เครื่องมือแผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone diagram) ทำให้ได้ปัจจัยที่คาดว่าจะทำให้เกิดของอาการงานเสียหายประกอบหลุดของสร้อยข้อมือสายหนัง แสดงดังรูปที่ 5

จากนั้นผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์แต่ละท่าน ให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล ของปัจจัยทั้งหมด 21 ปัจจัย โดยมีการให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผลจาก 0 คะแนน ถึง 9 คะแนน โดย 0 คะแนน หมายถึง ปัจจัยนี้ไม่ส่งผลต่อค่าแรงดิ่งของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง และ 9 คะแนน หมายถึงปัจจัยนี้ส่งผลต่อค่าแรงดิ่งของการประกอบสายสร้อยข้อมือหนังสูงมาก สรุปแผนภูมิพาเรโตในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุปัจจัย ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิพาเรโตแสดงการจัดลำดับ

คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล



รูปที่ 5 การวิเคราะห์แผนภูมิแก๊งปลาแสดงสาเหตุการเกิดของเสียสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฟ้าย้ายขึ้นงาน

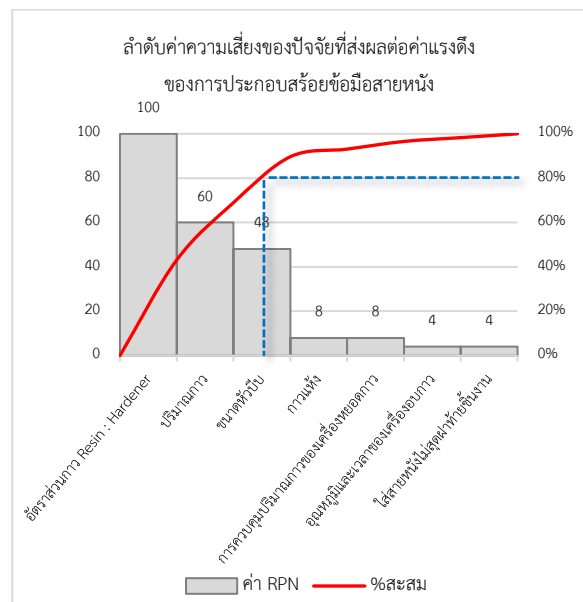
จากรูปที่ 4 การให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล สรุปคะแนนโดยใช้หลักการพาเรโต ในการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ทำให้ได้คะแนนปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังมากที่สุดที่มีสัดส่วนน้ำหนัก ร้อยละ 80 จำนวน 7 ปัจจัย รายละเอียดปัจจัย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังลำดับที่ 1 ถึง 7

ลำดับ	ตัวแปร	ปัจจัย	คะแนน
1	N	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	90
2	O	ปริมาณกาว	90
3	G	ขนาดหัวบีบ	88
4	P	กาวแห้ง	86
5	I	อุณหภูมิและเวลาของเครื่องอบกาว	80
6	H	การควบคุมปริมาณกาวของเครื่องหยอดกาว	27
7	Q	ใสสายหนังไม่สุดฟ้าย้ายขึ้นงาน	24

จากนั้นจึงนำปัจจัยทั้ง 7 ปัจจัย มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) โดยพิจารณาจากค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) มาจากการคูณกันของคะแนนการประเมินความรุนแรง (Severity : S) คะแนนโอกาสในการ

เกิดข้อบกพร่อง (Occurrence : O) และคะแนนการควบคุมป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่อง (Detection : D) ซึ่งจะแบ่งเกณฑ์แต่ละเกณฑ์เป็น 5 ระดับ เพื่อให้ได้สาเหตุของปัจจัยที่แท้จริงที่ทำให้เกิดของอาการของเสียสร้อยข้อมือสายหนังหลุดออกจากฟ้าย้ายขึ้นงาน แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิพาเรโตแสดงการจัดลำดับคะแนนค่าความเสี่ยง

จากการวิเคราะห์ค่าความเสี่ยง (RPN) ซึ่งนำมาจัดเรียงตามลำดับคะแนนโดยใช้แผนภูมิพาเรโต พบว่าปัจจัยที่มีค่าความเสี่ยง (RPN) สูงโดดเด่นที่สุด ที่มีสัดส่วนน้ำหนักร้อยละ 80 ซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังเป็นอย่างมาก มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และขนาดหัวบีบ จึงได้ทำการเลือกปัจจัยดังกล่าวทั้ง 3 ปัจจัย มาใช้ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมระดับของปัจจัยได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อ การดำเนินงานของหน่วยงานปกติ

3.3 การออกแบบการทดลอง (Design Experiment)

ทางผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม ในการปรับระดับของแต่ละปัจจัย เพื่อให้สร้อยข้อมือสายหนัง มีค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นตรงตามเป้าหมาย โดยการทดลองนี้ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ โดยสามารถทำการสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าและค่าของแต่ละระดับปัจจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ปัจจัยและค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

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

จากตารางที่ 2 อธิบายการเลือกปัจจัยแต่ละระดับปัจจัยเพื่อนำมาทำการทดลอง ดังนี้

1. อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ระดับต่ำ เป็นมาตรฐานในการผลิตปัจจุบัน ระดับกลาง เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตกาว และระดับสูง เป็นกำหนดสมมติฐาน เนื่องจากคุณสมบัติของ Resin คือ ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของกาว Resin เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้ ค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. ปริมาณกาว ระดับต่ำ เป็นคำแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิต ระดับกลาง เป็นมาตรฐานในการผลิตปัจจุบัน และระดับสูง เป็นปริมาณกาวที่มากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดกาวล้น เป็นการตั้งสมมติฐานว่า ปริมาณกาวที่มาก อาจส่งผลให้ค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง เพิ่มขึ้นเช่นกัน
3. ขนาดหัวบีบ ระดับต่ำ เป็นขนาดหัวบีบที่เล็กที่สุดที่จะไม่ทำให้แผ่นสแตนเลส บีบรัดสายหนังจนเกิดการฉีกหรือขาด ระดับกลาง เป็นมาตรฐานในการผลิตปัจจุบัน และระดับสูง เป็นขนาดหัวบีบที่ใหญ่ที่สุด ที่ไม่ทำให้แผ่นสแตนเลสหลุด และเมื่อบีบเสร็จสามารถใส่กับฝาท้ายของชิ้นงานได้

การหาขนาดตัวอย่างในการทดลอง (Sample size) [13,14] ของงานวิจัยนี้ ใช้การคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย 1 กลุ่ม โดยขนาดตัวอย่างในการทดลองนี้ คือ 5 ชั้น แสดงสูตรดังสมการที่ 1

$$n = \frac{(Z_\alpha + Z_\beta)^2 \sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \quad (1)$$

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

$$n = 4.2567 \approx 5 \text{ ชั้น}$$

โดย

1. ช่วงเชื่อความเชื่อมั่นที่กำหนด คือ 95% ($Z_\alpha = 1.96$)
2. อำนาจการทดสอบที่กำหนด คือ 90% ($Z_\beta = 1.28$)
3. σ คือ ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ ($\sigma = 1.767$)
4. μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงปัจจุบัน ($\mu_0 = 70.30$)
5. μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงเป้าหมาย ($\mu_1 = 78$)

สรุปการออกแบบการทดลอง ได้ดังนี้ การทดลองเป็นการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ จำนวน 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และขนาดหัวบีบ ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง ซึ่งในแต่ละการทดลองมีการตกลงร่วมกันของทีมที่จะทำการทดลองครั้งละ 10 ชิ้น ซึ่งมากกว่าจำนวนขนาดตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณขนาดตัวอย่างในการทดลอง สำหรับเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในเป้าหมายด้านค่าแรงดึงที่มากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแต่ละระดับปัจจัยในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนในการผลิต

4. การวิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)

การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง โดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบสามระดับ เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

4.1 ผลการทดลอง

จากการดำเนินการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ จำนวน 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมจำนวนทั้งสิ้น 54 การทดลอง การทดลองละ 10 ตัวอย่าง ซึ่งมีผลการทดลองปรากฏในช่องของ ค่าแรงดึง (นิวตัน) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดลองจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

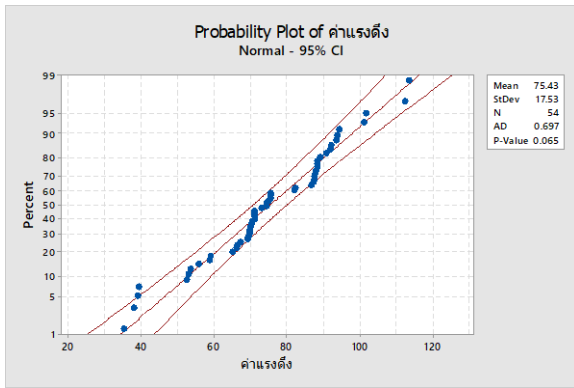
ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	3	1 : 1	4	2.7	53.08
2	9	1 : 1	4	2.7	52.60
3	42	1 : 1	4	2.8	39.22
4	51	1 : 1	4	2.8	39.11
5	24	1 : 1	4	2.9	37.95
6	45	1 : 1	4	2.9	35.37
7	29	1 : 1	8	2.7	82.26
8	53	1 : 1	8	2.7	81.99
9	22	1 :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

ตารางที่ 3 (ต่อ) ผลการทดลองจากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab)

ลำดับ	ลำดับสุ่ม	อัตราส่วนกาว Resin : Hardener	ปริมาณกาว (มิลลิกรัม)	ขนาดหัวบีบ (มิลลิเมตร)	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
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
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

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) [16]

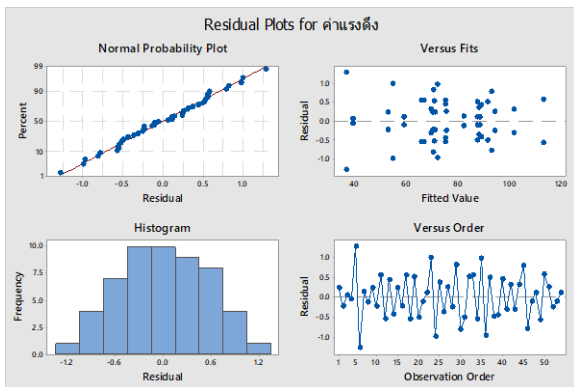
ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ทำการตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลองทางสถิติที่จะนำมาใช้ก่อน เพื่อความถูกต้องของตัวแบบจำลอง และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 7 Probability Plot ค่าแรงดึง

พิจารณากราฟ Probability Plot แสดงดังรูปที่ 7 มีการแจกแจงเป็นแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value เท่ากับ 0.065 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ข้อมูลจากผลการทดลองชุดนี้ มีการแจกแจงแบบปกติและเป็นไปตามสมมติฐาน [15]

พิจารณากราฟ Residual Plot เป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองต้องเป็นไปตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน และค่าความแปรปรวนมีเสถียรภาพ



รูปที่ 8 Residual Plot ค่าแรงดึง

พิจารณากราฟ Residual Plot ดังรูปที่ 8 จะเห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง มีลักษณะเรียงตัวตามแนวเส้นตรงแสดงว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ถัดมาเป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระของค่าส่วนตกค้าง โดยใช้แผนภูมิการกระจาย พบว่าส่วนตกค้างไม่มีรูปแบบที่

แน่นอนหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ โดยมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน สุดท้ายการตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของส่วนตกค้าง พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอไปทางบวกและทางลบ แสดงว่าส่วนตกค้างมีความเสถียรของความแปรปรวน

จากการพิจารณา สรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ ถือว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนึ่ง ทั้ง 3 ปัจจัย ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4

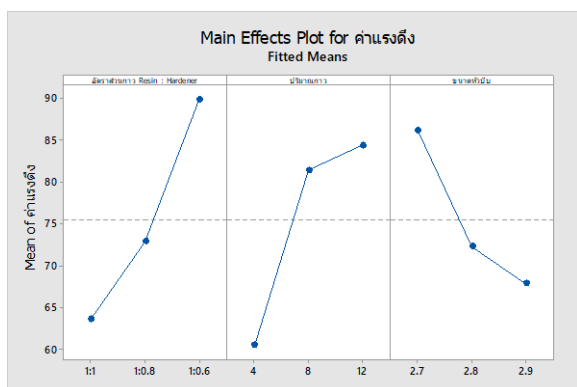
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง จากการทดลองแฟคทอเรียลแบบสามระดับ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	7	14515.9	2073.70	53.71	0.000
อัตราส่วนกาว	1	6150.5	6150.48	159.30	0.000
Resin : Hardener					
ปริมาณกาว	1	5144.0	5144.00	133.23	0.000
ขนาดหัวบีบ	1	2980.4	2980.43	77.19	0.000
อัตราส่วนกาว	1	196.4	196.42	5.09	0.029
Resin : Hardener*					
ปริมาณกาว					
อัตราส่วนกาว	1	0.7	0.69	0.02	0.894
Resin : Hardener*					
ขนาดหัวบีบ					
ปริมาณกาว*	1	43.5	43.47	1.13	0.294
ขนาดหัวบีบ					
อัตราส่วนกาว	1	0.4	0.38	0.01	0.922
Resin : Hardener*					
ปริมาณกาว*ขนาดหัวบีบ					
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%

จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง [17,18] จากการทดลองแพคทอเรียลแบบสามระดับ ดังตารางที่ 4 โดยการทดสอบสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ซึ่งพิจารณาได้จากค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก “อิทธิพลหลัก (Main Effect)” ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และ ขนาดหัวบีบ และเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม “อันตรกิริยา (Interaction Effect)” ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener*ปริมาณกาว

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ R^2 เท่ากับ 89.10% และ R^2 Adjusted เท่ากับ 87.44% หมายความว่าค่าความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองที่กระจายอยู่รอบค่าเฉลี่ยซึ่งสามารถอธิบายได้มีอยู่ในตัวแบบเชิงเส้นนี้มากถึง 89.10% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี



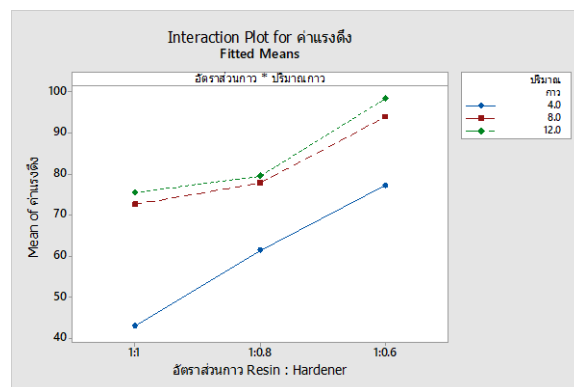
รูปที่ 9 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง

จากผลการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก สามารถแสดงอิทธิพลหลัก (Main Effect) ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ได้ดังรูปที่ 9 โดยอธิบายได้ดังนี้

อัตราส่วนกาว Resin : Hardener พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันขึ้น ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยอัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6 นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ปริมาณกาว พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันขึ้น ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยปริมาณกาว ที่ 12 มิลลิกรัม นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ขนาดหัวบีบ พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยปริมาณกาว ที่ 2.9 มิลลิเมตร นั้น ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 10 Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย

ระหว่างอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว

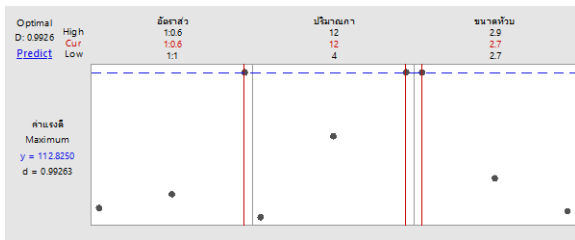
จากผลการวิเคราะห์ เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม สามารถแสดงอันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่ส่งผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ได้ดังรูปที่ 10 โดยอธิบายได้ดังนี้

จากการพิจารณารูป Interaction Plot อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย ระหว่างอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยอัตราส่วนกาว Resin : Hardener กับ ปริมาณกาว มีผลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง อย่างมีนัยสำคัญอย่างชัดเจน เนื่องจากการปรับอัตราส่วนกาว Resin : Hardener และปริมาณกาวในระดับปัจจัยสูง ส่งผลให้ค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในระดับสูง และเมื่ออัตราส่วนกาว Resin : Hardener และปริมาณกาวในระดับปัจจัยต่ำ จะส่งผลให้ค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในระดับต่ำ

4.3 ผลการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer)

จากการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย และใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability : D) โดยค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 หาก D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

ทางทีมใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในเป้าหมายด้านค่าแรงดึงที่มากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแต่ละระดับปัจจัยในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนในการผลิต กล่าวคือ ค่าแรงดึงยิ่งมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 11 ค่าการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมที่กำหนด

จากรูปที่ 11 พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วน Resin : Hardener ที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 1 : 0.6 ปริมาณควรอยู่ที่ 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ ที่ใช้ควรอยู่ที่ 2.7 มิลลิเมตร โดยมีค่าความพึงพอใจของผลตอบ D = 0.9926 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 สรุปได้ว่าผลตอบได้รับความพึงพอใจอย่างมาก

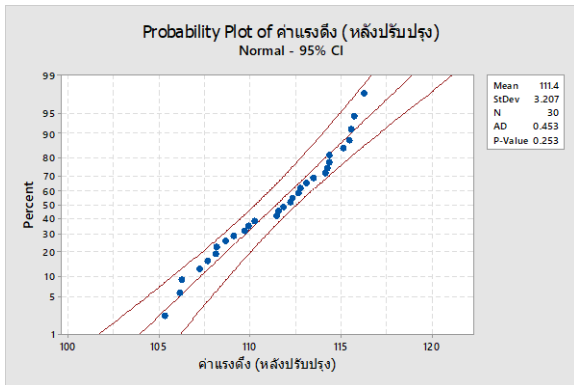
4.4 ขั้นตอนการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

เพื่อเป็นการยืนยันผล จึงนำค่าการปรับระดับปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ อัตราส่วน Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6, ปริมาณ ที่ 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ ที่ 2.7 มิลลิเมตร มาใช้ในการทำงานจริงและทดสอบค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง โดยเก็บข้อมูลค่าแรงดึงที่เกิดขึ้นเป็นจำนวน 30 ชิ้น แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังตามผลระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลอง

ลำดับ	อัตราส่วน Resin : Hardener	ปริมาณ (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
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

นำผลที่ได้จากตารางที่ 5 ไปทำการทดสอบ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) ก่อนนำข้อมูลก่อนวิเคราะห์และสรุปผลทางสถิติ โดยการพิจารณากราฟ Probability Plot หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และยอมรับสมมติฐาน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 12 Probability Plot ค่าแรงดึง หลังการปรับปรุง

พิจารณารูป Probability Plot ค่าแรงดึงหลังการปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 12 มีการแจกแจงเป็นแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.253 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงยอมรับสมมติฐาน สรุปได้ว่ากระบวนการนี้ข้อมูลแจกแจงแบบปกติ สามารถนำไปใช้ในการประมาณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการได้

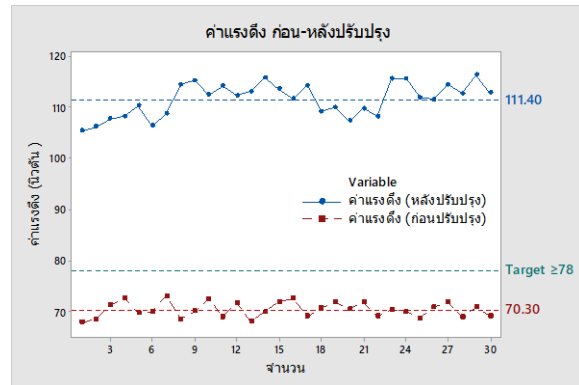
จากการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) พบว่า ได้ค่าแรงดึงเฉลี่ย 112.82 นิวตัน แล้วเมื่อนำมายืนยันผล พบว่า ค่าแรงดึงการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง ให้ค่าแรงดึงเฉลี่ย 111.40 นิวตัน ซึ่งมีค่าแรงดึงใกล้เคียงเป็นอย่างมาก สรุปได้ว่าการทดลองเพื่อยืนยันผลมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลและสามารถยืนยันผลได้จริง

4.5 เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

เปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ เพื่อสรุปภาพรวมของการเปลี่ยนแปลงค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปัจจัยและค่าของแต่ละระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ก่อน-หลังปรับปรุง

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



รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่าแรงดึงระหว่างช่วงก่อน-หลังปรับปรุงกระบวนการ

พิจารณารูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบค่าแรงดึงระหว่างช่วงก่อน-หลังปรับปรุงกระบวนการจะเห็นได้ว่า ก่อนปรับปรุงค่าแรงดึงเฉลี่ยคือ 70.30 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่าเป้าหมาย และเมื่อการปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามการออกแบบการทดลอง ทำให้หลังค่าแรงดึงเฉลี่ยหลังปรับปรุงกระบวนการมีค่า 111.40 นิวตัน ซึ่งมากกว่าเป้าหมาย คิดเป็นร้อยละการปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากก่อนปรับปรุง 58.46

5. การสรุปผล (Conclusion)

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดของเสียโดยการปรับปรุงค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสาย โดยศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนังที่ได้จากการระดมความคิดและวิเคราะห์โดยผู้ที่เชี่ยวชาญเกี่ยวกับเครื่องประดับซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานด้านนี้โดยตรง และนำปัจจัยที่ได้ไปศึกษาต่อโดยการให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) รวมทั้งวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis, FMEA) พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่คาดว่าจะส่งผลในเรื่องค่าแรงดึงในการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง มีอยู่ 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนผสมกาว Resin : Hardener, ปริมาณกาว และขนาดหัวบีบ ไปทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่

เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสม (Response Optimization) โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Minitab) มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง มีเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสม คือ ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึงของการประกอบสร้อยข้อมือสายหนัง อยู่ในเป้าหมายด้านค่าแรงดึงที่มากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของแต่ละระดับปัจจัยในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อต้นทุนในการผลิต ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราส่วนกาว Resin : Hardener ที่ 1 : 0.6, ปริมาณกาว ที่ 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ ที่ 2.7 มิลลิเมตร

เมื่อนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง มาใช้ในการใช้ในสภาวะการทำงานจริง พบว่าสามารถเพิ่มค่าแรงดึงเฉลี่ยจากก่อนปรับปรุง 70.30 นิวตัน เป็น 111.40 นิวตันที่หลังปรับปรุง คิดเป็นร้อยละการปรับปรุงค่าแรงดึงเพิ่มจากก่อนปรับปรุง 58.46

สามารถสรุปได้ว่าเมื่อทำการปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามการออกแบบการทดลอง ทำให้หลังค่าแรงดึงเพิ่มมากขึ้น ตรงตามวัตถุประสงค์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรจัดอบรมพนักงานอยู่เสมอ เพื่อสร้างความตระหนักให้กับพนักงาน เป็นการป้องกันสินค้าที่ไม่ได้มาตรฐานหลุดไปถึงมือลูกค้า

2) เนื่องจากในโรงงานกรณีศึกษาผลิตสร้อยข้อมือสายหนังหลากหลายประเภท ซึ่งมีขั้นตอนการประกอบ

เหมือนกัน มีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่คล้ายกัน ซึ่งสามารถที่จะนำวิธีการออกแบบการทดลอง ที่ได้จากการวิจัยนี้ไปปรับใช้เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการประกอบให้เหมาะสมกับการทำงาน เพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดได้

3) เนื่องจากการปรับปรุงค่าแรงดึงให้มากขึ้น ส่งผลให้เกิดของเสียการประกอบหลุดลดลง ดังนั้นในลำดับต่อไปจึงควรมีการวางแผนติดตามร้อยละการรับคืนสินค้าจากลูกค้า หลังจากปรับปรุง เพื่อเป็นการยืนยันผลในอีกระดับหนึ่ง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ท่านได้ให้ความรู้และชี้แนวทางในการแก้ปัญหา ด้วยความเมตตาโดยตลอดจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษา หัวหน้างาน รวมทั้งพนักงานในฝ่ายผลิตที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการค้นคว้า ทดลอง และให้คำแนะนำมาโดยตลอดด้วยดีจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนทุกคนที่สนับสนุน ให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้งานวิจัยสำเร็จ

นอกจากนี้ยังมีผู้ที่ให้ความร่วมมือช่วยเหลืออีกหลายท่าน ซึ่งผู้เขียนไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ได้หมด ขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมบัติ สุขนิจ (2548). การแก้ไขปัญหาผิวเป็นตุ่มในอุตสาหกรรมผลิตเม็ดพีวีซีโดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [2] นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์ (2562). การปรับปรุงคุณภาพ.
- [3] ชวัล เลิศกัธราชย์ (2561). การหาปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการเชื่อมเหนียวนำแบบจุดของฝาถังน้ำมันโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] รณชัย ไม้สนธิ (2553). การลดของเสียจากการอบยางในกระบวนการผลิตยางรถโดยใช้เทคนิค FMEA, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] สุรชัย จันทร์เถื่อน (2560). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดปริมาณของเสียประเภทฉีดไม่เต็มแบบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

- [6] Cohen, J. (2013). Statistical power analysis for the behavioral sciences. Academic press.
- [7] Douglas C. Montgomery. (2012). Design and Analysis of Experiments John Wiley & Sons, Inc.
- [8] 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.
- [9] ปารเมศ ชูติมา (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] พิทักษ์ชน วิเศษ (2556). การลดของเสียการผลิตขึ้นไม้สับโดยการออกแบบการทดลอง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [11] ทศพล เกียรติเจริญผล (2538). การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเคลือบแล็กเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกโดยวิธีออกแบบการทดลอง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] วรณฤดี อินทนะนง (2558). การกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดของเสียในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] นิคม ถนอมเสียง (2551). การคำนวณขนาดตัวอย่าง Sample Size Determination.
- [14] Lwanga, S. K., Lemeshow, S., & Organization, W. H. (1991). Sample size determination in health studies: a practical manual. World Health Organization.
- [15] พรเทพ ลากฐวะศิริ (2544). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการลดของเสีย กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] วรงค์พร บุญยमानนท์ (2556). การกำหนดปัจจัยการผลิตด้วยพลาสติกด้วยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา โรงงานผลิตพลาสติกบรรจุภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [17] วาสนา ช่อมะลิ (2555). การลดเวลาสูญเสียของเครื่องผสมยางจากยางติดประตูปล้อยาง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [18] อลงกต กาญจนคช (2538). การปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.