

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงในการเชื่อมพลาสติกพอลิโพรพิลีน(PP)แบบอัลตราโซนิกของ
ชิ้นส่วนยานยนต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FACTOR INFLUENCING ON TENSILE STRENGTH IN PP ULTRASONIC WELDING



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 2019

Copyright of Chulalongkorn University

กมลพรรณ เชิดสูงเนิน : ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงในการเชื่อมพลาสติก
 พอลิโพรพิลีน(PP)แบบอัลตราโซนิกของชิ้นส่วนยานยนต์. (FACTOR INFLUENCING
 ON TENSILE STRENGTH IN PP ULTRASONIC WELDING) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.
 ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้านทาน
 ของดิ่งของการเชื่อมพลาสติกพอลิโพรพิลีน(PP)แบบอัลตราโซนิก (PP-APBP-31 และ PP-APBP-
 2) เนื่องจากต้องการลดเวลาการทำงานของกระบวนการเชื่อมและรักษาค่าความต้านทานแรงดึง
 ของจุดเชื่อมแต่ละจุดให้มีค่ามากกว่า 60 นิวตัน จึงต้องทำการควบคุมปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อ
 รักษาคุณภาพของจุดเชื่อมไว้ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อ
 ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมพลาสติกด้วยแผนภูมิแกงปลาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความ
 ต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมพลาสติก ได้แก่ ความหนาของผิวเชื่อม เวลาในการเชื่อมและแรง
 กดหัวเชื่อม ข้อกำหนดในการเชื่อมคือกำหนดความถี่ของเครื่องเชื่อมไว้ที่ 28.5 กิโล
 เฮิร์ต จากนั้นทำการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองโดยวิธีบ็อกซ์-เบห์นเคน(Box-
 Behnken) โดยกำหนดระดับปัจจัยปัจจัยละ 3 ระดับซึ่งทำการทดลองทั้งหมด 15 การ
 ทดลอง จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อม
 พลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจอยู่ที่ 98.60 % จากนั้นทำการหา
 สภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer) จากผลการทดลองที่ได้พบว่าค่าที่เหมาะสมของ
 ปัจจัยแต่ละปัจจัยได้แก่ ความหนาของผิวเชื่อมอยู่ที่ 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3
 วินาที และแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน และสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการเชื่อมชิ้นงานใน
 กรณีศึกษาสามารถลดเวลาในการเชื่อม 2 วินาทีต่อจุด (จาก 5 วินาทีเป็น 3 วินาทีต่อจุด) หรือ
 ลดได้ 30 วินาทีต่อชิ้นงาน จากการลดเวลาในกระบวนการเชื่อมพลาสติกทำให้โรงงานผลิต
 ชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาสามารถผลิตชิ้นงานได้มากขึ้น 41 ชิ้นต่อวันหรือ 820 ชิ้นต่อเดือนจาก
 ปัจจุบัน

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6170901721 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Ultrasonic welding, Plastic welding, Box-Behnken

Kamonpan Cherdsoongnern : FACTOR INFLUENCING ON TENSILE STRENGTH IN PP ULTRASONIC WELDING. Advisor: Assoc. Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, Ph.D.

The propose of this research is study factor which concern tensile strength of Polypropylene (PP : PP-APBP31 and PP-APBP2) ultrasonic welding. Because cycle time of welding process need to reduce. Welding point must follow standard which is more than 60N per point. So other factor must controlled for keep that standard. Study result from fish-bone analysis found factor which concern tensile strength is part thickness at welding point,welding time and welding force. The experiment determine frequency of welding machine at 28.5 kHz. Then design experiment by Box-Behnken method. Determine level by 3 level for each factor,totally 15 experiments. The result shown above 3 factors are effect with tensile strength significantly with 98.60 % prediction coefficient. Then find appropriate level of each factor by Response Optimizer. The result shown appropriate level of part thickness at welding point is 2.5 mm,welding time is 3 second and welding force is 10 N. That is mean welding process of a study part can reduce production time 2 second/welding point (from 5 second to 3 second) equal reduce production time 30 second/part. As production time of welding process was reduced. Auto parts factory in case study can produce a study part more 41 pcs/day equal 820 pcs/day.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำต่างๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย ทั้งการเขียนเนื้อหา การวิเคราะห์ผลงานวิจัย รวมถึงคำแนะนำเมื่อเจอปัญหาจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์จรัสวัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย พัวจินดา เนตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาชี้แนะและให้คำแนะนำ ทำให้ข้าพเจ้าได้พัฒนาแนวความคิดและการวิเคราะห์ผลการทดลองได้อย่างรอบคอบ รวมถึงขอขอบพระคุณคณาจารย์ท่านอื่นๆอันมิได้เอ่ยนาม ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ข้าพเจ้า รวมทั้งได้แต่งตั้งตราให้ข้าพเจ้าใช้ค้นคว้าหาความรู้ รวมถึงใช้อ้างอิงจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณโรงงานในกรณีศึกษาที่เปิดโอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้าไปพัฒนากระบวนการเชื่อมพลาสติกทำให้งานวิจัยนี้เกิดขึ้นได้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณพ่อ แม่ ครอบครัว รวมถึงเพื่อนๆในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจข้าพเจ้าเป็นอย่างดีตลอดการทำงานวิจัยนี้



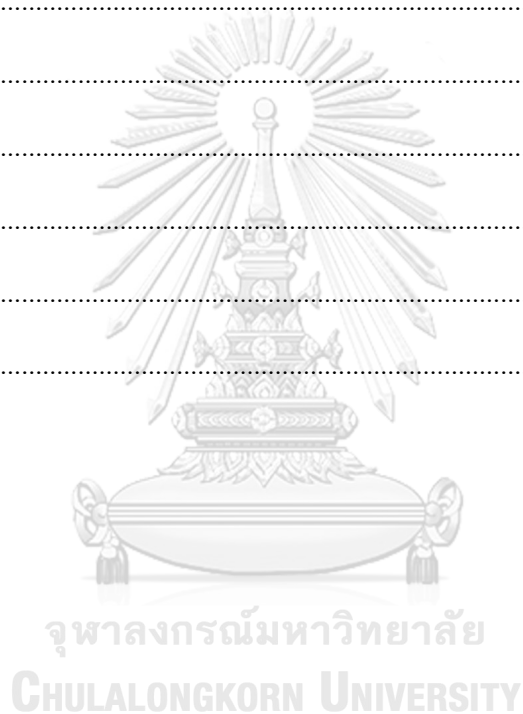
กมลพรรณ เชิดสูงเนิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	8
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	8
1.4 ผลที่ได้รับ.....	8
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	8
1.6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	9
บทที่ 2.....	11
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1.1 กระบวนการฉีดพลาสติก.....	11
2.1.2 ประเภทของพลาสติก.....	15
2.1.3 กระบวนการเชื่อมพลาสติก.....	18
2.1.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง.....	22
2.1.5 คุณสมบัติของวัสดุของชิ้นงานในกรณีศึกษา.....	26
2.1.6 เครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิก.....	26

2.1.7 เครื่องตัดพลาสติกแบบอัลตราโซนิค.....	29
2.1.8 ลวดเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized steel wire).....	30
2.1.9 การออกแบบการทดลอง.....	31
2.1.10 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design)	32
2.1.11 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design).....	33
2.1.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวม (Analysis of Variance: ANOVA).....	34
2.1.13 การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย [2].....	35
2.1.14 การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัวหรือเป็นกลุ่ม [2].....	35
2.1.15 การวิเคราะห์ผล.....	36
2.1.16 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination :R ²).....	36
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3	42
3.1 การวิเคราะห์ปัญหาในการทดลอง.....	42
3.2 การเลือกปัจจัยการทดลอง.....	49
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	51
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	51
3.5 การออกแบบการทดลอง.....	53
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	54
บทที่ 4	56
4.1 ผลการทดลอง.....	56
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	59
4.3 การทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรอิสระ	62
4.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัว	67
4.5 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	72

4.6 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer)	73
4.7 การทำการทดลองเพื่อยืนยันผล	76
บทที่ 5	79
5.1 สรุปผลการวิจัย	79
5.2 อุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย	81
5.3 ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	83
ภาคผนวก	84
ภาคผนวก ก	85
ภาคผนวก ข	89
ภาคผนวก ค	94
ประวัติผู้เขียน	103



สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก.....	17
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างประเภทของพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle Plastic).....	17
ตารางที่ 2.3 ชนิดของพลาสติกที่สามารถเชื่อมกันแบบอัลตราโซนิค.....	18
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B.....	22
ตารางที่ 2.5 ระบบการวัดข้อมูลของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B.....	23
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของวัสดุ PP-APBP2 และ PP-APBP31.....	26
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D.....	27
ตารางที่ 2.8 การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D.....	28
ตารางที่ 2.9 ข้อมูลจำเพาะของ Honda Ultrasonic Cutter USW-331Ti.....	29
ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติของลวดชุบสังกะสีขนาดต่างๆ.....	30
ตารางที่ 2.11 ขนาดมาตรฐานของลวดชุบสังกะสี.....	31
ตารางที่ 2.12 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนแบบ 3 ตัวแปร.....	33
ตารางที่ 2.12 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนแบบ 3 ตัวแปร (ต่อ).....	34
ตารางที่ 3.1 ความต้านทานของดิ่งต้อขึ้นของชิ้นงานในกรณีศึกษาในปัจจุบัน.....	47
ตารางที่ 3.3 ระดับปัจจัยที่ใช้การทดลอง.....	54
ตารางที่ 3.4 การออกแบบการทดลอง.....	54
ตารางที่ 4. 1 ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมทั้ง 15 จุดของชิ้นงานในกรณีศึกษาโดยควบคุมปัจจัยในการเชื่อม 3 ปัจจัยได้แก่ $X_1 = 2.5, X_2 = 3$ และ $X_3 = 10$	56
ตารางที่ 4. 2 ผลการทดลองตามการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken.....	59
ตารางที่ 4. 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการถดถอยของข้อมูลความต้านทานแรงดึง.....	63
ตารางที่ 4. 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการถดถอยของข้อมูลความต้านทานแรงดึงด้วยวิธี Stepwise.....	66

ตารางที่ 4.5 การทดสอบสัมประสิทธิ์สภาพการถดถอยที่ละลายตัวสำหรับความต้านทานแรงดึง	67
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการเชื่อมพลาสติกโดยควบคุมปัจจัยความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที และแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน จำนวน 3 ชิ้นงาน.....	76
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการเชื่อมพลาสติกโดยควบคุมปัจจัยความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที และแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน จำนวน 3 ชิ้นงาน(ต่อ)...	77
ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมพลาสติกก่อนและหลังการปรับปรุง..	81



สารบัญญภาพ

รูปที่ 1.1 ชิ้นส่วนพลาสติกของรถยนต์	2
รูปที่ 1.2 จำนวนการประกอบรถยนต์ในประเทศไทยในปีพ.ศ.2543-2561	3
รูปที่ 1.3 จำนวนการประกอบรถยนต์ PPV ในประเทศไทยตั้งแต่พ.ศ.2545-2561	3
รูปที่ 1.4 จำนวนการขายรถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปิกอัพ (PPV) ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ใน กรณีศึกษาตั้งแต่ปีพ.ศ.2560-2562	4
รูปที่ 1.5 จำนวนการผลิตรถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปิกอัพ (PPV) ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ใน กรณีศึกษาในปีพ.ศ.2560-2562	5
รูปที่ 1.6 จำนวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนเมษายน 2562 ถึง ธันวาคม 2562	7
รูปที่ 1.7 ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมแต่ละจุดของชิ้นงานในกรณีศึกษา	7
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่องฉีดพลาสติกแนวนอน (Horizontal Injection Machine)	11
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้ง (Vertical Injection Machine).....	10
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก	10
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างส่วนประกอบของชุดฉีด (Injection Unit)	11
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit).....	14
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างชุดควบคุม (Control Unit)	14
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค	19
รูปที่ 2.8 ขั้นตอนหัวเชื่อมสัมผัสชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค	19
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเพิ่มแรงดันให้กับชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค	19
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนเชื่อมชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค	20
รูปที่ 2.11 ขั้นตอนรอยเชื่อมเซตตัวของของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค	20
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนหัวเชื่อมเคลื่อนที่ออกจากชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค	20
รูปที่ 2.13 Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B	22
รูปที่ 2.14 ขนาดของเครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B ..	25

รูปที่ 2.15 ขนาดของตัวดึงชิ้นงานของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B.....	25
รูปที่ 2.16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D.....	27
รูปที่ 2.17 ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D	28
รูปที่ 2.18 รูปร่างและขนาดเครื่องแปลงความถี่ที่ห่อ SHIDENSHA รุ่น G-type Hand-held.....	29
รูปที่ 2.19 เครื่องตัดพลาสติกแบบอัลตราโซนิค Honda Ultrasonic Cutter USW-331Ti.....	30
รูปที่ 2.20 พื้นผิวตอบแบบสามมิติ	33
รูปที่ 2.21 การออกแบบบ็อกซ์-เบทน์เคนแบบ 3 ตัวแปร	34
รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตของชิ้นงานในกรณีศึกษา	42
รูปที่ 3.2 กระบวนการย่อยของกระบวนการเชื่อมพลาสติก	43
รูปที่ 3.3 แผนภาพก้างปลาแสดงสาเหตุของปัญหาที่ขั้นตอนการเชื่อมใช้เวลานานกว่ากระบวนการอื่นในการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษา	45
รูปที่ 3.4 Process capability ของความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมของชิ้นงานในปัจจุบัน	48
รูปที่ 3.5 ความหนาของผิวเชื่อมทั้ง 3 ระดับที่ใช้ในการทดลอง	50
รูปที่ 3.6 แท่นรองชิ้นงานระหว่างทำการเชื่อม	51
รูปที่ 3.7 กระบวนการเชื่อมชิ้นงานในกรณีศึกษา	52
รูปที่ 3.8 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบแรงดึงของจุดเชื่อม	52
รูปที่ 3.9 ลักษณะการผูกมัดเข้ากับชิ้นงานเพื่อทำงานทดสอบความต้านทานแรงดึง	53
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการเตรียมการดึงชิ้นงาน	53
รูปที่ 4. 1 Process Capability Report ของข้อมูลตารางที่ 4.1	57
รูปที่ 4. 2 Probability Polt ของข้อมูลตารางที่ 4.1.....	58
รูปที่ 4. 3 Normal Probability Plot ของข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2.....	60
รูปที่ 4. 4 Residual Versus Observation Order ข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2...	61
รูปที่ 4. 5 Variance Stability ของความแปรปรวนของข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2	61

รูปที่ 4. 6 Histogram ของข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2.....	62
รูปที่ 4. 7 Main Effect Plot ของอิทธิพลจากปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ 68	68
รูปที่ 4.8 รอยเชื่อมของความหนาของผิวเชื่อม 3 ระดับที่เวลาที่ใช้ในการเชื่อม (3 วินาที)	69
รูปที่ 4.9 รอยเชื่อมของเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 ระดับที่ความหนาของผิวเชื่อม (2.5 มิลลิเมตร).....	70
รูปที่ 4.10 รอยเชื่อมของแรงกดหัวเชื่อม 3 ระดับที่ความหนาของผิวเชื่อม (2.5 มิลลิเมตร).....	71
รูปที่ 4.11 Interaction Plot ของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยคือแรงกดหัวเชื่อมและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม	71
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อม	72
รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม	73
รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมเมื่อกำหนด.....	74
รูปที่ 4.15 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมเมื่อกำหนดความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที.....	75
รูปที่ 4.16 ค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อกำหนดความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน	75
รูปที่ 4.17 Probability Plot ของข้อมูลค่าความต้านทานแรงดึง	77
รูปที่ 4.18 Capability Report ของข้อมูลค่าความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.6	78

บทที่ 1

ที่มาและความสำคัญ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

1.1.1 ภาพรวมของอุตสาหกรรมยานยนต์

รถยนต์เป็นพาหนะที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน มีทั้งการใช้เป็นพาหนะส่วนตัว และเป็นการขนส่งสาธารณะ บริษัทที่ทำการผลิตรถยนต์เพื่อจำหน่ายมีการวิจัยและพัฒนาการ ออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของรถยนต์อย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานในด้าน ต่างๆ เช่น รูปลักษณ์ภายนอก ความสะดวกสบายขณะการใช้งานของผู้ขับขี่และผู้โดยสาร ความ ปลอดภัยต่อผู้ขับขี่และผู้โดยสารอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยหนึ่งที่เป็นความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากในด้านการประหยัดเชื้อเพลิงแล้วยังเป็นการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมคือการลดอัตราการ สิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่ออัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงของรถยนต์ได้แก่ 3 ปัจจัยได้แก่ น้ำหนักรถยนต์ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และสมรรถนะของยานยนต์

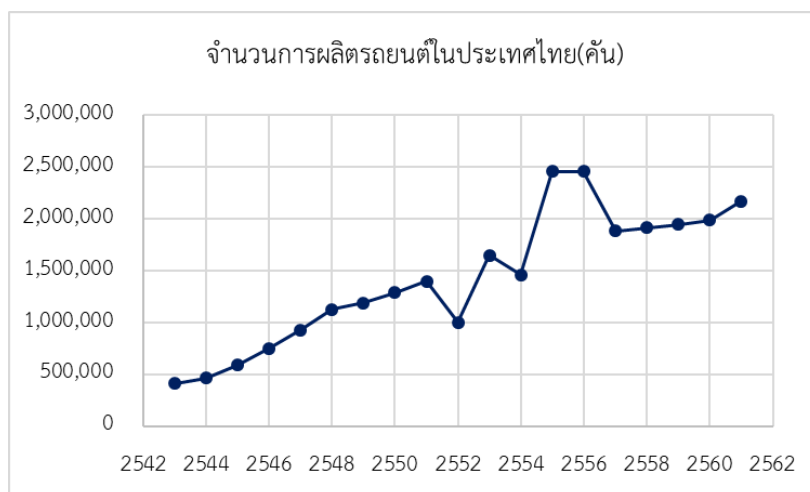
การลดน้ำหนักตัวถังรถยนต์เป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานซึ่งส่งผลดี กับทั้งผู้ใช้งานและผู้ประกอบการ กล่าวคือนอกจากเป็นการลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิง แล้วยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตในเวลาเดียวกัน มีการวิจัยและพัฒนาในด้านการลดน้ำหนักตัวถัง รถยนต์โดยการเปลี่ยนวัสดุจากโลหะเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบากว่าเดิมแต่ยังคงคุณภาพการใช้งาน เช่น อลูมิเนียมหรือพลาสติก เป็นต้น ชิ้นส่วนรถยนต์ที่ผลิตจากโลหะที่ถูกแทนที่ด้วยชิ้นส่วนพลาสติก ได้แก่ กันชนหน้า กันชนหลัง ชิ้นส่วนที่ใช้ในการจับยึดชิ้นส่วนอื่นๆ ชิ้นส่วนที่ช่วยเสริมความ แข็งแรงให้กับชิ้นส่วนภายนอก บันไดข้างของรถกระบะหรือรถยนต์เอนกประสงค์ เป็นต้น ชิ้นส่วน รถยนต์ที่ผลิตจากโลหะที่ถูกแทนที่ด้วยอลูมิเนียมได้แก่ ฝากระโปรงรถ (Hood) แก้มข้าง (Fender) เป็นต้น รูปที่ 1.1 เป็นการแสดงตัวอย่างของชิ้นส่วนของรถยนต์ที่ผลิตจากพลาสติกซึ่งเป็น การใช้พลาสติกทดแทนโลหะและเป็นชิ้นงานที่ผลิตจากพลาสติกตั้งแต่ต้น



รูปที่ 1.1 ชิ้นส่วนพลาสติกของรถยนต์

1.1.2 ภาพรวมของอุตสาหกรรมการประกอบรถยนต์ในประเทศไทย

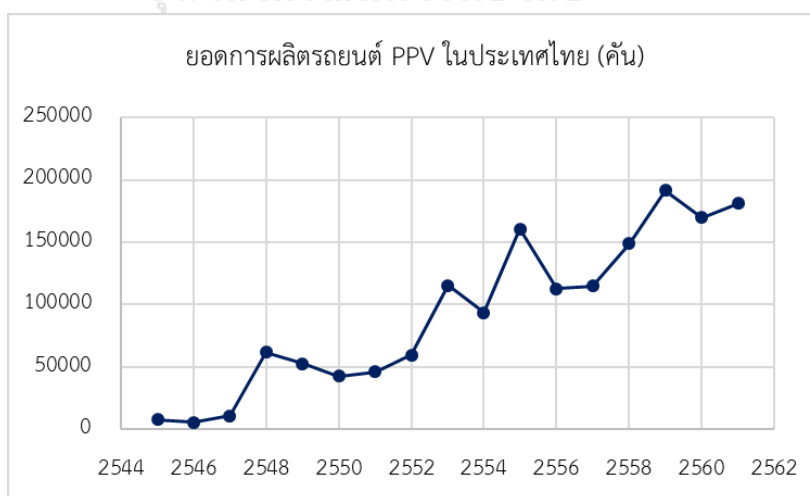
ประเทศไทยมีอันดับการผลิตรถยนต์สูงเป็นอันดับที่ 11 ของโลก ในปัจจุบันประเทศไทยมีจำนวนการผลิตรถยนต์กว่า 2 ล้านคันต่อปี จากรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นว่าจำนวนการผลิตรถยนต์ในประเทศไทยในปีพ.ศ.2543-2561 ซึ่งมีอัตราสูงขึ้นในทุก ๆ ปี (ในช่วงปีพ.ศ.2555-2556 มีนโยบายที่เกี่ยวข้องกับยอดขายรถยนต์จากทางภาครัฐของประเทศไทยนั้นคือนโยบายรถคันแรก ซึ่งทำให้ความต้องการรถยนต์ของประชาชนในประเทศไทยมีสูงกว่าปกติ จึงทำให้จำนวนการผลิตสูงขึ้นมากเป็นพิเศษและลดลงในปีต่อมา)



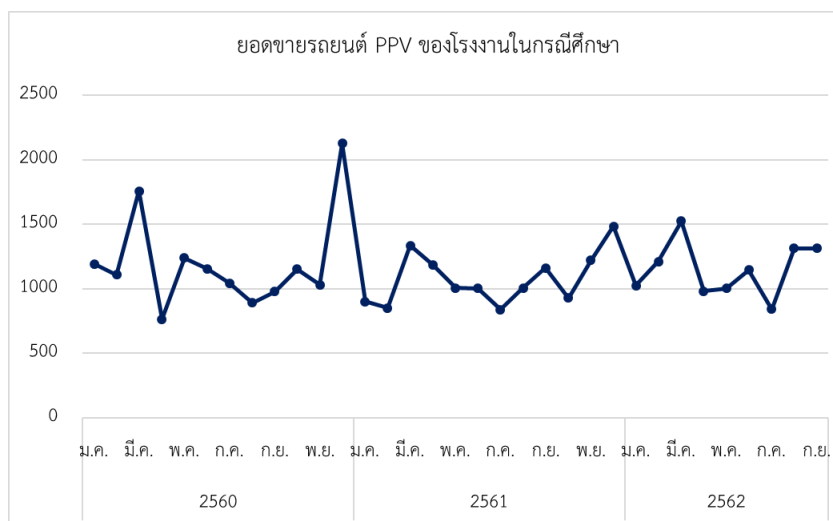
รูปที่ 1.2 จำนวนการประกอบรถยนต์ในประเทศไทยในปีพ.ศ.2543-2561

รถยนต์ประเภทหนึ่งที่เป็นที่นิยมในประเทศไทยและทั่วโลกได้แก่รถยนต์ประเภทเอนกประสงค์กึ่งปิกอัพ (Pick-up Passenger Vehicle : PPV) เนื่องจากเหมาะกับการใช้งานแบบครอบครัว สะดวกสบาย ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ซึ่งในประเทศไทยมีจำนวนการผลิตรถยนต์ประเภทนี้เป็นจำนวนมากดังรูปที่ 1.3 ซึ่งจากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ารถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปิกอัพ (PPV) มีจำนวนการผลิตสูงและมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุกปี และรูปที่ 1.4 แสดงจำนวนยอดขายของรถเอนกประสงค์กึ่งปิกอัพ (PPV) ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษามีจำนวนสูงและมีแนวโน้มคงที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.3 จำนวนการประกอบรถยนต์ PPV ในประเทศไทยตั้งแต่พ.ศ.2545-2561



รูปที่ 1.4 จำนวนการขายรถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปิกอัพ (PPV) ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาตั้งแต่ปีพ.ศ.2560-2562

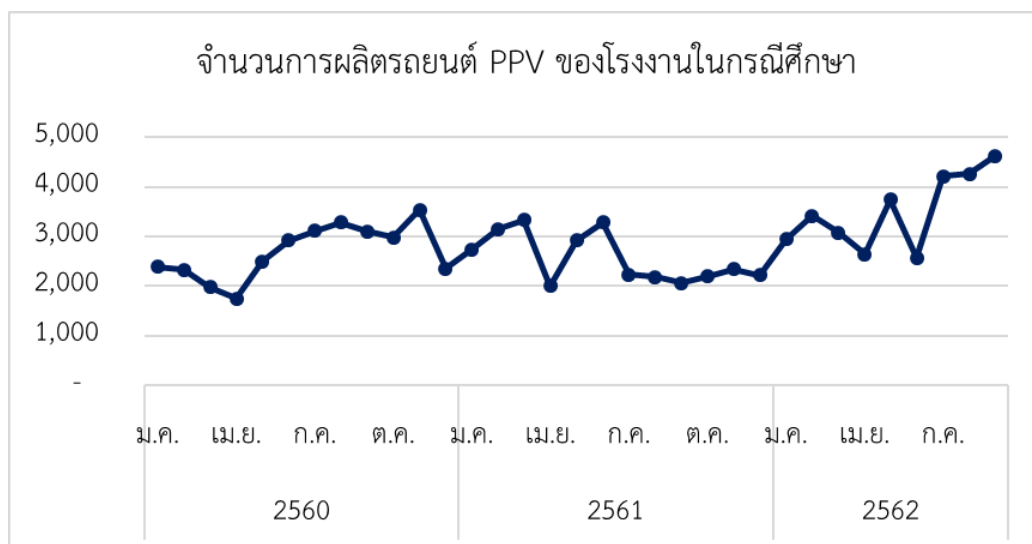
1.1.3 กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมยานยนต์

กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกซึ่งใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์นั้นมีหลากหลายกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Process) กระบวนการดึงพลาสติก (Extrusion Process) กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้ลมร้อน (Blow Mold Process) เป็นต้น กระบวนการที่นิยมใช้กันอย่างมากสำหรับการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ได้แก่กระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Process) ซึ่งกระบวนการการฉีดพลาสติกนั้นมีข้อดีคือสามารถผลิตชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ มีคุณภาพชิ้นงานสูง สามารถผลิตได้ทั้งชิ้นงานขนาดเล็กและใหญ่ ทั้งนี้ทั้งนั้น กระบวนการนี้ยังคงมีข้อจำกัดในเรื่องของรูปร่างที่เกี่ยวข้องกับความลึกของชิ้นงาน ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อนจึงมีการประกอบชิ้นส่วนพลาสติกและชิ้นส่วนอื่นโดยวิธีการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนในลักษณะที่ต้องการ เช่น ประกอบโดยรูปร่างการล็อกโดยตัวของชิ้นงาน (Hook shape) ประกอบโดยใช้สกรู การเชื่อมพลาสติกด้วยตัวเองเข้าด้วยกัน เป็นต้น

วิธีการที่เป็นที่นิยมได้แก่การประกอบชิ้นส่วนพลาสติกคือการเชื่อมพลาสติก ซึ่งการเชื่อมพลาสติกนี้มีหลายประเภทด้วยกันได้แก่ การเชื่อมแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic welding) การเชื่อมแบบใช้ความร้อน (Hot welding) เป็นต้น

1.1.4 การประกอบรถยนต์ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษา

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษามีการผลิตรถยนต์หลายประเภทด้วยกัน ได้แก่ รถยนต์ปีกอัท (Pick-up) รถยนต์เพื่อการโดยสาร และรถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปีกอัท (Pick-up Passenger Vehicle : PPV) เป็นต้น



รูปที่ 1.5 จำนวนการผลิตรถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปีกอัท (PPV) ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาในปีพ.ศ.2560–2562

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาแห่งนี้มีการประกอบรถยนต์ทุกประเภทดังกล่าวทั้งเพื่อการส่งออกไปยังประเทศต่างๆ ทั่วโลกและจำหน่ายในประเทศไทย จากรูปที่ 1.5 แสดงจำนวนการผลิตรถยนต์เอนกประสงค์กึ่งปีกอัท PPV ของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษา จากรูปจะเห็นว่ามียอดการผลิตประมาณ 1,000–2,000 คันต่อเดือนนับตั้งแต่ปี 2560 จนถึงปัจจุบัน อีกทั้งยังมีแนวโน้มสูงขึ้นในแต่ละเดือน

1.1.5 ที่มาและความสำคัญ

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษามีการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ทั้งชิ้นส่วนพลาสติกและโลหะ หนึ่งในชิ้นส่วนรถยนต์ที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาผลิตเป็นชิ้นส่วนพลาสติกชิ้นงานในกรณีศึกษานี้ขึ้นรูปชิ้นงานโดยกระบวนการฉีดพลาสติก (Injection Process) โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาทำการขึ้นรูปชิ้นส่วน ทำการประกอบชิ้นส่วนโดยวิธีการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิกจำนวน 15 จุดและนำชิ้นงานไปพ่นสี โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาเลือกการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิกเนื่องจากสามารถเชื่อมชิ้นงานในพื้นที่ทำงานจำกัดได้ อีกทั้งการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิกนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อผิวชิ้นงานภายนอก (Appearance)

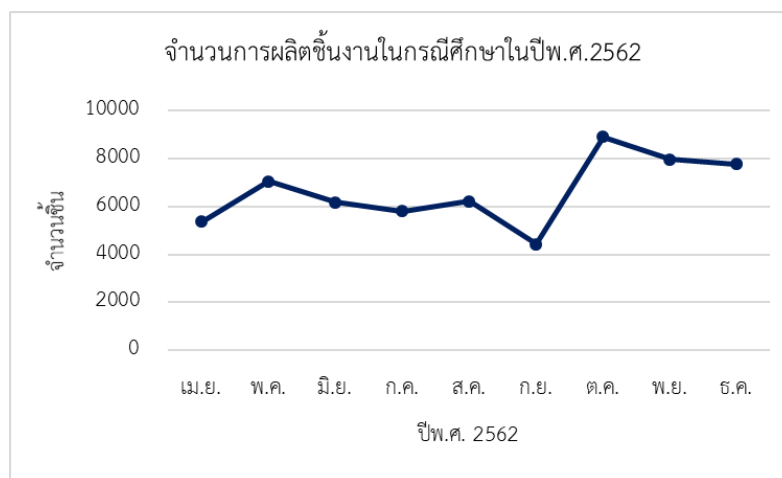
ชิ้นงานในกรณีศึกษาได้มีการกำหนดมาตรฐานความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมแต่ละจุด อยู่ที่มากกว่า 60 นิวตันต่อจุด แต่ปัจจุบันค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมของจุดเชื่อมพลาสติกมีค่านับสูงสุดถึง 140 นิวตันต่อจุด ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ถึง 80 นิวตันต่อจุด

โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาสามารถผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาได้เฉลี่ยเดือนละ 8,059 ชิ้น ซึ่งผลิตได้น้อยกว่าความต้องการของลูกค้าที่มีความต้องการโดยเฉลี่ยเดือน 9,680 ชิ้น (น้อยกว่าความต้องการของลูกค้าโดยเฉลี่ยเดือนละ 1,621 ชิ้นต่อเดือน) ทำให้โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาต้องมีการทำงานล่วงเวลาเพื่อให้ผลิตสินค้าได้ทันตามของลูกค้าสั่งซื้อ

ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาได้ไม่ตรงตามของลูกค้าต้องการภายในช่วงเวลาทำงานปกติคือข้อจำกัดในเรื่องของเวลาในการผลิตชิ้นงาน กระบวนการผลิตมีกระบวนการคอขวดที่กระบวนการเชื่อมพลาสติก ถึงแม้ว่าทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาได้ทำการเพิ่มเครื่องเชื่อมพลาสติกจาก 1 เครื่องเป็น 2 เครื่องแล้วก็ตาม และทางโรงงานไม่สามารถเพิ่มเครื่องเชื่อมได้อีกเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ในการทำงาน ดังนั้นการลดเวลาในกระบวนการคอขวดจึงเป็นวิธีการที่ดีที่สุดในการเพิ่มจำนวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษา แต่ในการลดเวลาเพียงอย่างเดียวอาจส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมให้มีค่าลดลงหรือเพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีมาตรฐานอ้างอิงว่าหากลดเวลาในการเชื่อมไปแล้วต้องควบคุมปัจจัยอื่นทดแทนหรือไม่เพื่อรักษาคุณภาพของจุดเชื่อมให้เป็นไปตามมาตรฐานคือมีค่าความต้านทานแรงดึงมากกว่า 60 นิวตันต่อจุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาหาปัจจัยที่มีความอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงเพื่อให้การลดเวลาในกระบวนการเชื่อมไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของจุดเชื่อม

อัตราการผลิตปัจจุบัน

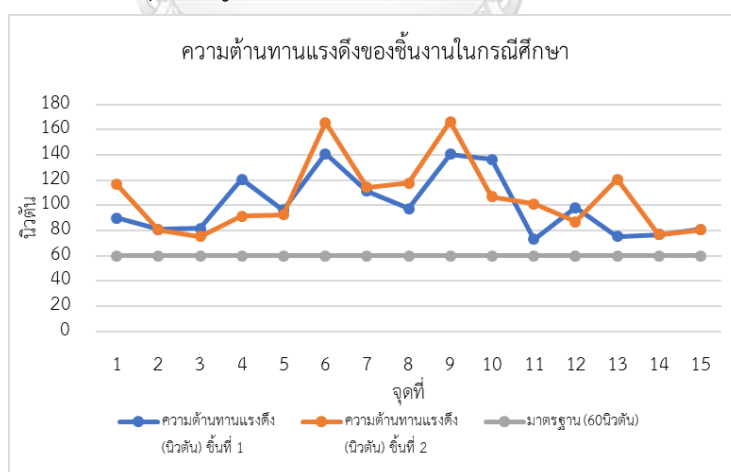
จำนวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษามีค่าตั้งที่ระบุในรูปที่ 1.6 จำนวนการผลิตชิ้นงานมีแนวโน้มคงที่ตั้งแต่เดือนเมษายน 2562 ถึง ธันวาคม 2562 ซึ่งเป็นการผลิตชิ้นงานตามคำสั่งซื้อของลูกค้า



รูปที่ 1.6 จำนวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนเมษายน 2562 ถึง ธันวาคม 2562

ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานต่อจุดเทียบกับมาตรฐาน

จุดเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษามีความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมโดยเฉลี่ย 100 นิวตันต่อจุด ซึ่งมาตรฐานที่ทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษากำหนดใช้เป็นมาตรฐานควบคุมคุณภาพของชิ้นงานในกรณีศึกษาคือ 60 นิวตันต่อจุด ดังนั้นค่าความความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานในกรณีศึกษามีค่าสูงกว่ามาตรฐานอยู่ประมาณ 40 นิวตันต่อจุด (ค่ามากที่สุดห่างจากค่ามาตรฐานกว่า 100 นิวตันต่อจุด) ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมแต่ละจุดของชิ้นงานในกรณีศึกษา

1.1.6 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมพลาสติก

1. ความหนาของพลาสติกบริเวณผิวสัมผัสชิ้นงานขณะเชื่อม
2. เวลาที่ให้ความร้อนแก่พลาสติกขณะเชื่อม (Welding time)
3. แรงกดขณะเชื่อมพลาสติก (Force)
4. ความถี่ของหัวเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการ (Frequency)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลกับคุณสมบัติของความต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่างๆ

2. ลดเวลาการทำงานของกระบวนการเชื่อมพลาสติกของชิ้นงานในกรณีศึกษา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ชนิดของพลาสติกที่ใช้ในการเชื่อมคือ พอลิโพรพิลีน (PP) AP-BP31 ความหนา 3.0 มิลลิเมตร และ พอลิโพรพิลีน (PP) AP-BP2 ความหนา 2.5 มิลลิเมตร

2. เครื่องเชื่อมพลาสติกที่ใช้ในการเชื่อมพลาสติกคือ Ultrasonic welder SONOPET D-series Portable Welders รุ่น SONOPET 466D Generator

3. ชนิดของหัวเชื่อมคือ M-type Machine Mountable Transducer

4. เครื่องทดสอบการดึงคือ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

5. เกณฑ์ในการพิจารณาผลการทดลองคือเวลาที่ใช้ในการเชื่อมน้อยที่สุดและมีความต้านทานแรงดึงไม่ต่ำกว่า 60 นิวตัน

6. ความถี่ที่ใช้ในการเชื่อมคือ 28.5 กิโลเฮิร์ต

1.4 ผลที่ได้รับ

1. ลดเวลาในการทำงานของกระบวนการเชื่อมพลาสติกของชิ้นงานในกรณีศึกษา

2. จำนวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาต่อวันสูงขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เป็นแนวทางในการออกแบบรูปแบบของชิ้นงานใหม่ที่มีการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิคในอนาคต

2. ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลง

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและตรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งศึกษาปัจจัยในกระบวนการเชื่อมพลาสติกที่คาดว่าจะส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อม
2. ศึกษาข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองรวมถึงวิธีการใช้งานที่ถูกต้องสำหรับการเก็บข้อมูลสำหรับความต้านทานแรงดึงของพลาสติก
3. ออกแบบการทดลองและกำหนดเงื่อนไขที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของพลาสติก
4. ทำการทดลองตามแผนการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลการเชื่อมพลาสติกสำหรับเงื่อนไขต่างๆ
5. วัดผลและเก็บค่าการทดลอง
6. ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละปัจจัยและคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของพลาสติก
7. วิเคราะห์ผลการทดลอง
8. สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ
9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 กระบวนการฉีดพลาสติก [1]

การฉีดพลาสติกคือกระบวนการผลิตชิ้นงานโดยอาศัยกรรมวิธีการเติมเม็ดพลาสติกเข้าไปในเครื่องฉีดพลาสติก จากนั้นทำให้เม็ดพลาสติกเกิดความร้อนจนกระทั่งเม็ดพลาสติกอ่อนตัวจนหลอมละลายจนกลายเป็นพลาสติกเหลว เครื่องฉีดพลาสติกจะทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปยังแม่พิมพ์ของเครื่องฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้พลาสติกในรูปร่างต่างๆที่ต้องการ หลังจากฉีดพลาสติกเหลวเข้าแม่พิมพ์พลาสติกเหลวจะแข็งตัวขึ้น จากนั้นเครื่องฉีดพลาสติกจะปลดชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดเสร็จแล้วออกจากแม่พิมพ์

เครื่องฉีดพลาสติก (Injection Machine)

เครื่องฉีดพลาสติกแบ่งตามลักษณะของทิศทางการฉีดได้ 2 รูปแบบคือ เครื่องฉีดพลาสติกแนวนอน (Horizontal Injection Machine) และเครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้ง (Vertical Injection Machine)

(1) เครื่องฉีดพลาสติกแนวนอน (Horizontal Injection Machine)

พลาสติกที่ไหลเข้าแม่พิมพ์ทำงานตามแนวนอน โดยจะตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยชุดฉีดพลาสติกและหน่วยเปิด-ปิดแบบจะอยู่ในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่องฉีดพลาสติกแนวนอน (Horizontal Injection Machine)

(2) เครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้ง (Vertical Injection Machine)

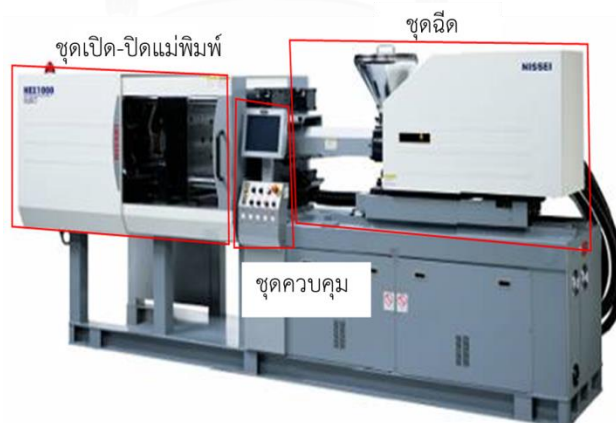
พลาสติกที่ไหลเข้าแม่พิมพ์ทำงานตามแนวตั้ง โดยจะตั้งฉากกับระนาบของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกโดยชุดฉีดพลาสติกและหน่วยปิด-เปิดจะอยู่ในทิศทางเดียวกัน



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างเครื่องฉีดพลาสติกแนวตั้ง (Vertical Injection Machine)

ส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

เครื่องฉีดพลาสติกประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ชุดฉีด (Injection Unit) ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit) และ ชุดควบคุม (Control Unit)

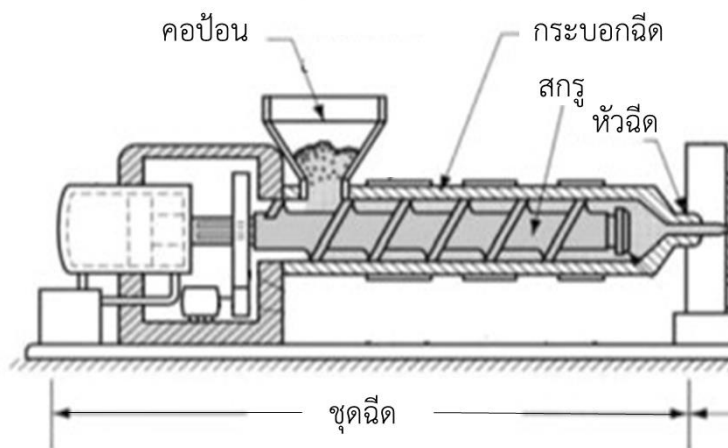


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างส่วนประกอบของเครื่องฉีดพลาสติก

(1) ชุดฉีด (Injection Unit)

การทำงานของชุดฉีดเริ่มการทำงานจากสกรูหมุนพาเม็ดพลาสติกที่อยู่ในกรวย (Hopper) ออกไปที่กระบอกสูบ เม็ดพลาสติกจะถูกให้ความร้อนและละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันพร้อมกับฉีดให้

พลาสติกออกจากหัวฉีดสู่แม่พิมพ์ ส่วนประกอบของชุดฉีด (Component of Injection Unit) มีรายละเอียดดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างส่วนประกอบของชุดฉีด (Injection Unit)

(1.1) คอป้อน (Hopper throat) มีรูปร่างลักษณะคล้ายกรวยใช้สำหรับรองรับเม็ดพลาสติก ก่อนที่เม็ดพลาสติกจะถูกลำเลียงไปยังกระบอกฉีด (Barrel) ซึ่งบริเวณนี้จะมีการให้ความร้อนแก่เม็ดพลาสติกเพื่อให้เม็ดพลาสติกหลอมละลาย บริเวณนี้จะมีระบบน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันการเกาะตัวของเม็ดพลาสติกที่หลอมละลายและคอป้อน ทั้งนี้ทั้งนี้ระบบหล่อเย็นนี้ต้องมีความเหมาะสมกับชนิดของเม็ดพลาสติกด้วยเนื่องจากหากอุณหภูมิของคอป้อนต่ำมากในขณะที่มีการป้อนเม็ดพลาสติก จะทำให้เม็ดพลาสติกมีความชื้น ซึ่งความชื้นนี้จะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานด้วยเช่นกัน

(1.2) กระบอกฉีด (Barrel) มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกติดตั้งอยู่กับคอป้อน บริเวณผิวด้านนอกของการบอฉีดจะติดตั้งปลอกทำความร้อน (Band Heater)

ปลอกทำความร้อน (Band Heater) ติดตั้งกับกระบอกฉีด (Barrel) ปลอกทำความร้อนนี้มีหน้าที่ในการให้ความร้อนเพื่อใช้ในการหลอมละลายเม็ดพลาสติก โดยมีการแยกการควบคุมอุณหภูมิออกเป็นส่วนๆ

เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

เป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัดอุณหภูมิของกระบอกฉีด เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติกมี 2 ชนิดคือ ชนิด J และ ชนิด K

เทอร์โมคัปเปิล ชนิด J (Thermocouple Type J)

สายของขั้วบวกทำด้วยเหล็กและสายของขั้วลบทำด้วย Constantan (ทองแดง 60% + นิกเกิล 40%) ช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -210 ถึง 1200 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการใช้งานที่มีอุณหภูมิไม่สูงมากนัก ซึ่งใช้ได้ในสภาพที่เป็นสุญญากาศ (Vacuum) Oxidizing และ Reducing

เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (Thermocouple Type K)

สายของขั้วบวกทำด้วย นิกเกิล 10% + โครเมียม 90% และสายของขั้วลบทำด้วยนิกเกิล 95% + อลูมิเนียมแมงกานีสและซิลิกอน 5% ช่วงการวัดอุณหภูมิอยู่ที่ -270 ถึง 1372 องศาเซลเซียส เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพ Oxidizing และ Inert สภาพที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรง ไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพ Reducing สุญญากาศ (Vacuum) และงานที่มีไอของซัลเฟอร์

(1.3) สกรู (Screw)

เป็นส่วนที่ลำเลียงเม็ดพลาสติกที่ได้รับความร้อนไปยังกระบวนการหลอมละลายและฉีดพลาสติก ซึ่งโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนป้อน (Feed zone) ส่วนบีบอัด (Compression zone) และ ส่วนการวัด (Metering zone) ซึ่งมีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังนี้

ส่วนป้อน (Feed zone)

ลำเลียงเม็ดพลาสติกที่ไหลลงมาจากคอนป้อน ความลึกของร่องเกลียวของสกรูช่วงนี้มีค่าเท่ากันทุกเกลียว การเปลี่ยนแปลงความร้อนในช่วงนี้เกิดขึ้นจากการเสียดสีกันของเม็ดซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากการเสียดสีนี้มีเพียงเล็กน้อย ดังนั้นความร้อนที่มาจากปลอกทำความร้อนในบริเวณสกรูช่วงนี้ต้องไม่สูงมากจนเกินไป เพราะจะทำให้เม็ดพลาสติกหลอมละลายและเกาะกันเป็นก้อน และเพื่อทำให้การลำเลียงเม็ดพลาสติกมีความสม่ำเสมอไม่ขาดช่วง

ส่วนบีบอัด (Compression zone)

เม็ดพลาสติกจะถูกหลอมละลายและผสมผสานกันได้ดีขึ้นในช่วงนี้ เนื่องจากเกิดการเสียดสีของเม็ดพลาสติกและความร้อนสะสมภายในเม็ดพลาสติกทำให้เกิดการหลอมละลายและอัดแน่นกันของเม็ดพลาสติกมากยิ่งขึ้น สกรูของบริเวณนี้มีความลึกของร่องเกลียวจะค่อย ๆ ลดลงไปเรื่อย ๆ เพื่อทำให้เกิดการอัดตัวของเม็ดพลาสติก

ข้อแตกต่างของความลึกของร่องเกลียวในช่วงนี้เรียกว่า Compression Ratio โดยทั่วไปจะอยู่ที่อัตราส่วนประมาณ 2:1

ส่วนการวัด (Metering zone)

การหลอมละลายในช่วงนี้เริ่มมีการสะสมกำลังและแรงดันเพิ่มมากขึ้น ในช่วงสกรูนี้จะทำหน้าที้นำพลาสติกที่หลอมละลายแล้วผ่านไปยังลิ้นเปิดทางเดียว (Non-Return Valve) เพื่อเข้าสู่กระบวนการฉีดพลาสติกเข้าสู่แม่พิมพ์

(1.4) หัวฉีด (Nozzle)

มีหน้าที่เป็นทางผ่านของพลาสติกเหลวจากกระบอกฉีดไปสู่แม่พิมพ์ หัวฉีดเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างปลายกระบอกฉีดกับ Sprue Bush ของแม่พิมพ์ในขณะที่ทำการฉีดพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์ ขนาดรัศมีของปลายหัวฉีดต้องมีขนาดพอดีที่จะสวมหรือสัมผัสกับรัศมีของ Sprue Bush ของแม่พิมพ์ โดยทั่วไปหัวฉีดแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆคือหัวฉีดแบบเปิดและแบบปิด

หัวฉีดแบบเปิด (Open nozzle)

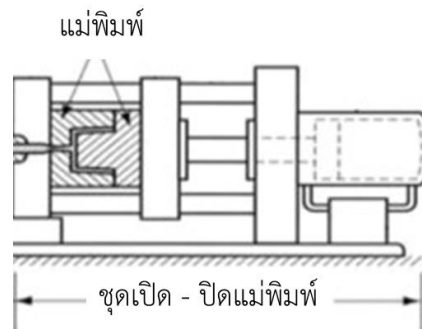
หัวฉีดแบบเปิดเป็นหัวฉีดที่ใช้กับการฉีดพลาสติกที่มีคุณสมบัติของความหนืดที่ค่อนข้างสูง (ไหลยากเมื่อถึงจุดหลอมเหลว) หัวฉีดแบบเปิดเป็นแบบที่ได้รับการนิยมเนื่องจากมีราคาถูก มีความเสียดทานในการไหลของพลาสติกเหลวน้อย และทำให้เกิดการสูญเสียแรงดันน้อยมาก แต่เนื่องจากไม่มีระบบเปิด-ปิดรูของหัวฉีด ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการไหลย้อนของพลาสติกที่ปลายหัวฉีด จึงต้องใช้วิธีการป้องกันการดึงกลับของสกรู (Suck Back) ซึ่งเป็นมาตรฐานการใช้งานของหัวฉีดประเภทนี้

หัวฉีดแบบปิด (Shut-off nozzle)

หัวฉีดแบบปิดเป็นหัวฉีดที่ใช้กับการฉีดพลาสติกที่มีคุณสมบัติของความหนืดที่ต่ำ (ไหลง่ายเมื่อถึงจุดหลอมเหลว) หัวฉีดแบบปิดมีระบบควบคุมการเปิด-ปิดของรูฉีดเพื่อป้องกันไม่ให้พลาสติกเหลวไหลออกมาที่ปลายหัวฉีด

(2) ชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

เมื่อพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ แม่พิมพ์จะถูกปิดเพื่อให้พลาสติกเหลวแข็งตัวขึ้นเป็นรูปร่างตามแม่พิมพ์ จากนั้นแม่พิมพ์จะเปิดและกระทุ้งชิ้นงานออกมา โดยทั่วไประบบของการปิดแม่พิมพ์มี 2 ระบบคือ Direct clamp และ Toggle clamp



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างชุดปิด-เปิดแม่พิมพ์ (Clamping Unit)

(2.1) ระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์โดยตรง (Direct clamp)

เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์โดยตรงผ่านต้นกำลังคือลูกสูบไฮดรอลิก (Hydraulic Cylinder) มีข้อดีคือใช้งานง่ายและตั้งค่าได้ง่าย

(2.2) ระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ผ่านกลไก (Toggle clamp)

เป็นระบบการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ผ่านกลไก ซึ่งสามารถใช้ได้กับต้นกำลังจากเซอร์โวมอเตอร์และไฮดรอลิก มีข้อดีคือแรงในการปิดแม่พิมพ์มีความสม่ำเสมอและเที่ยงตรง

(3) ชุดควบคุม (Control Unit)

มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของทุกระบบของเครื่องฉีด เช่น การควบคุมอุณหภูมิของกระบอกฉีด การควบคุมแรงดันและความเร็วในการฉีดพลาสติก การควบคุมความเร็วในการเปิด-ปิดแม่พิมพ์ การควบคุมเวลาการทำงานในขั้นตอนต่างๆของเครื่องฉีด เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างชุดควบคุม (Control Unit)

ขั้นตอนการฉีดพลาสติก

(1) ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เข้าปิด

ในขั้นตอนนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ช่วง ได้แก่

(1.1) แม่พิมพ์ด้านเคลื่อนที่ (Cavity side) เริ่มเคลื่อนที่เข้าไปหาแม่พิมพ์ด้านที่อยู่กับที่ (Core side) โดยใช้ความเร็วที่ช้าเป็นระยะทางสั้น ๆ

- (1.2) แม่พิมพ์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นเป็นระยะทางยาว ๆ
- (1.3) แม่พิมพ์ลดความเร็วลงในระยะทางที่เหลือไม่มากนัก
- (1.4) ช่วงป้องกันแม่พิมพ์เกิดความเสียหายก่อนที่แม่พิมพ์จะปิดสนิท
- (1.5) ช่วงปิดล็อกแม่พิมพ์สนิท เป็นช่วงที่แม่พิมพ์ปิด
- (2) ขั้นตอนชุดหัวฉีดเคลื่อนที่เข้าชนและแนบกับแม่พิมพ์
- (3) ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขันดันพลาสติกเหลวที่อยู่ในกระบอกฉีดให้ไหลเข้าไปในแม่พิมพ์เรียกว่าจังหวะฉีด (Injection Phase)
- (4) ขั้นตอนสกรูเคลื่อนที่ตามแนวแกนโดยไม่มีการหมุน เพื่อขันดันพลาสติกเหลวเข้าไปในแม่พิมพ์เพิ่มเติมหลังจากที่พลาสติกเหลวเต็มแม่พิมพ์แล้ว เพื่อย้ำและรักษาความดันให้พลาสติกในแม่พิมพ์มีความหนาแน่นตามที่ต้องการเรียกว่าช่วงการย้ำ (Holding Phase) ช่วยให้ชิ้นงานมีขนาดเที่ยงตรงและแข็งแรง
- (5) ขั้นตอนสกรูเริ่มหมุนเพื่อดึงเม็ดพลาสติกในกรวยเติมเม็ดพลาสติก พร้อมทั้งป้อนไปข้างหน้าของสกรูเพื่อทำการหลอมผสมและป้อนพลาสติกเหลวไปอยู่หน้าปลายสกรู เรียกจังหวะนี้ว่า plasticizing จังหวะนี้เป็นตัวกำหนดปริมาณเนื้อพลาสติกเหลว
- (6) ขั้นตอนการหล่อเย็นพลาสติกที่อยู่ในแม่พิมพ์ เพื่อให้พลาสติกเหลวเปลี่ยนเป็นของแข็ง โดยจะทำงานพร้อมกับการหมุนสกรูเพื่อหลอมและป้อนพลาสติกเหลวไปหน้าปลายสกรูดังขั้นตอนที่ (5)
- (7) ขั้นตอนหัวฉีดเคลื่อนที่ถอยออกจากแม่พิมพ์
- (8) ขั้นตอนแม่พิมพ์เคลื่อนที่เปิดเมื่อเวลาในการหล่อเย็นจากขั้นตอนที่ (6) นั้นหมดลงแล้ว
- (9) ขั้นตอนการกระทุ้งชิ้นงานให้หลุดออกจากแม่พิมพ์

2.1.2 ประเภทของพลาสติก

พลาสติกเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้นใช้แทนวัสดุธรรมชาติบางชนิดเมื่อเย็นจะแข็งตัวและอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนบางชนิดแข็งตัวถาวรเช่นไนลอน ยางเทียม ใช้ทำสิ่งต่างๆ เช่น เสื้อผ้า ฟิล์ม ภาชนะ เป็นต้น

พลาสติกที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีหลายชนิด หากแบ่งตามคุณสมบัติของพลาสติกสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก

เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

พลาสติกประเภทนี้โครงสร้างโมเลกุลเป็นโซ่ตรงยาว มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์น้อยมากจึงสามารถหลอมเหลวได้หรือเมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม เมื่อพลาสติกประเภทนี้ได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวนั้นคือสามารถเปลี่ยนรูปได้

(1) คุณสมบัติพิเศษ

เมื่อหลอมแล้วสามารถนำมาขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่ได้

(2) ตัวอย่างของพลาสติก

พอลิเอทิลีน พอลิโพรพิลีน พอลิสไตรีน

เทอร์โมเซตติงพลาสติก (Thermosetting Plastic)

พลาสติกประเภทนี้โมเลกุลจะเชื่อมโยงกันเป็นร่างแหจับกันแน่น แรงแยัดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแข็งแรงมากจึงไม่สามารถนำมาหลอมเหลวได้หลังจากทำการขึ้นรูปแล้ว กล่าวคือเกิดการเชื่อมต่อข้ามไปมาระหว่างสายโซ่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ (cross linking among polymer chains) ด้วยเหตุนี้หลังจากพลาสติกเย็นจนแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถทำให้อ่อนได้อีกโดยใช้ความร้อน แต่จะสลายตัวทันทีที่อุณหภูมิสูงถึงระดับ การทำพลาสติกชนิดนี้ให้เป็นรูปลักษณะต่าง ๆ ต้องใช้ความร้อนสูงและโดยมากต้องการแรงอัดด้วย

(1) คุณสมบัติพิเศษ

ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนปฏิกิริยาเคมีได้ดี เกิดคราบและรอยเปื้อนได้ยาก คงรูปหลังการผ่านความร้อนหรือแรงดันเพียงครั้งเดียว เมื่อเย็นลงจะแข็งมาก ทนความร้อนและความดัน ไม่อ่อนตัวและเปลี่ยนรูปร่างไม่ได้ ในอุณหภูมิสูงก็จะแตกและไหม้เป็นขี้เถ้าสีดำ

(2) ตัวอย่างของพลาสติก

Melamineformaldehyde, Phenolformaldehyde, Epoxy, Polyester, Urethane, Polyurethane

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงพลาสติก

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซตติงพลาสติก
1. เป็นโพลิเมอร์แบบเส้นหรือแบบกึ่ง	1. เป็นโพลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
2. อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน	2. แข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
3. ต้องทำให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่พิมพ์ มิฉะนั้นจะเสียรูปทรงได้	3. ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่พิมพ์
4. ไม่เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์	4. เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์
5. นำมารีไซเคิลโดยการหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้	5. ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างประเภทของพลาสติกที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Recycle Plastic)

ลำดับที่	ชื่อพลาสติก	สัญลักษณ์การรีไซเคิล	ตัวอย่างการใช้งาน
1	พอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต Polyethylene Terephthalate : PET		ขวดน้ำอัดลม ขวดน้ำมันพืช
2	พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง High density polyethylene : HDPE		ขวดยาสระผม กระป๋องแป้ง
3	พอลิไวนิลคลอไรด์ Polyvinylchloride : PVC		ฟิล์มอาหาร สายยาง กระเบื้องยาง
4	โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ Low density polyethylene : LDPE		ถุงขยะ ฉนวนหุ้มสายไฟ
5	พอลิโพรพิลีน Polypropylene : PP		ถุงร้อนใส่อาหาร หลอดพลาสติก
6	พอลิสไตรีน Polystyrene : PS		บรรจุภัณฑ์สำหรับ บรรจุอาหาร
7	พลาสติกอื่นๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก หรือไม่ทราบว่าเป็นพลาสติกชนิดใด เช่น โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC)		ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า อุปกรณ์ตกแต่งบ้าน

2.1.3 กระบวนการเชื่อมพลาสติก

การเชื่อมพลาสติกสามารถจำแนกได้ตามประเภทของการเชื่อมได้ 4 ประเภทได้แก่

- (1) การเชื่อมแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic welding)
- (2) การเชื่อมแบบเหนี่ยวนำ (Induction welding)
- (3) การเชื่อมแบบสั่น (Vibration welding)
- (4) การเชื่อมแบบกระตุ่น (Impulse welding)

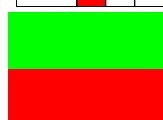
- (1) การเชื่อมแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic welding)

การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิกเป็นกระบวนการที่ใช้ความถี่สูง (15-60 กิโลเฮิร์ต) การสั่นสะเทือนแบบอะคูสติกต่ำ (10-250 เมตร) เพื่อเชื่อมชิ้นส่วนของวัสดุเทอร์โมพลาสติกโดยทำให้จุดจับพลังงานการสั่นสะเทือน โดยทั่วไปกระบวนการนี้ต้องใช้เวลาน้อยกว่า 10 วินาทีและมีราคาไม่แพง

การเชื่อมด้วยคลื่นอัลตราโซนิกเป็นวิธีแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเชื่อมต่อชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กเกินไปบอบบางหรือซับซ้อนเกินกว่าที่จะขึ้นรูปเป็นชิ้นเดียวนอกจากนี้ยังมีประโยชน์อย่างมากในการเชื่อมเทอร์โมพลาสติกสองประเภทเข้ากันและมีข้อจำกัดเกี่ยวกับชนิดของพลาสติกที่ใช้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของพลาสติกที่สามารถเชื่อมกันแบบอัลตราโซนิก

	ABS	ABS/PC	LCP	PA	PBT	PC	PC/PBT	PE	PEEK	PEI	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PPS	PS	PVC	SAN
ABS	Green	Green										Green					Red	Red	Red
ABS/PC	Green	Green				Green	Red					Red							
LCP			Green																
PA				Green						Red									
PBT					Green		Red												
PC			Green			Green	Red					Green			Red				
PC/PBT			Red		Red	Green	Red					Red							
PE								Green											
PEEK									Green										
PEI					Red					Green									
PET											Green								
PMMA	Green	Red				Green	Red					Green							Red
POM													Green						
PP														Green					
PPO						Red									Green	Green	Green	Green	Red
PPS																Green	Green	Green	Green
PS	Red																Green	Green	Green
PVC	Red																	Green	Green
SAN	Red																		Green

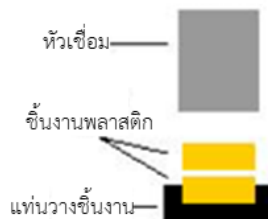


สามารถเชื่อมกันแบบอัลตราโซนิกได้

ไม่สามารถเชื่อมกันแบบอัลตราโซนิกได้

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิก

1. ติดตั้งชิ้นงาน : วางชิ้นงานขึ้นที่ต้องการเชื่อมกันลงบนตำแหน่งที่กำหนดไว้สำหรับเชื่อม



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นงานของเครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิก

2. หัวเชื่อม (Horn) สัมผัสกับชิ้นงาน : หัวเชื่อม (Horn) เคลื่อนที่ไปสัมผัสชิ้นงานที่ต้องการเชื่อม



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนหัวเชื่อมสัมผัสชิ้นงานของเครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิก

3. เพิ่มแรงดันให้กับชิ้นงาน : กดชิ้นงานทั้งสองชิ้นให้ชิ้นงานได้รับความดันเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการเพิ่มแรงดันให้กับชิ้นงานของเครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิก

4. การเชื่อมพลาสติก : หัวเชื่อมจะถูกสันสะเทือนในแนวตั้ง 20,000 เฮิรต (20 กิโลเฮิรต) หรือ 40,000 เฮิรต (40 กิโลเฮิรต) ต่อวินาทีสำหรับระยะเวลาที่แม่นยำเรียกอีกอย่างว่าเวลาเชื่อม ชิ้นส่วนต่างๆได้รับการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างแม่นยำเพื่อให้พลังงานถูกส่งไปยังจุดสัมผัสเฉพาะระหว่างสองส่วน

การสันสะเทือนทางกลถูกส่งผ่านวัสดุเทอร์โมพลาสติกไปยังส่วนต่อประสานเพื่อสร้างความร้อนแบบเสียดทาน เมื่ออุณหภูมิที่จุดต่อประสานถึงจุดหลอมเหลวพลาสติกจะละลายและไหลและการสันสะเทือนจะหยุด สิ่งนี้ทำให้พลาสติกที่ละลายเริ่มเย็นตัวลง

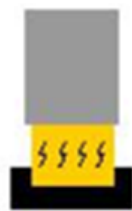
ทำการเชื่อมชิ้นงาน



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนเชื่อมชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค

5. รอยเชื่อมเซตตัว : แรงยึดจะถูกรักษาไว้ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเพื่อให้ชิ้นส่วนสามารถหลอมรวมขณะที่พลาสติกละลายและทำให้แข็งตัวสิ่งนี้เรียกว่าเวลาเซตตัว ความแข็งแรงของรอยต่อที่ดีขึ้นและการบิดผนึกแบบผนึกอาจทำได้โดยการใช้แรงที่สูงขึ้นในช่วงเวลาเซตตัว นี่คือการสำเร็จโดยใช้ความดันสองที่จุดต่าง ๆ ในเวลาเซตตัว

รอยเชื่อมเซตตัว

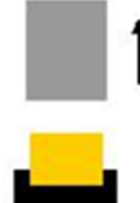


รูปที่ 2.11 ขั้นตอนรอยเชื่อมเซตตัวของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค

6. หัวเชื่อม (Horn) เคลื่อนที่ออกจากชิ้นงาน : เมื่อพลาสติกที่ละลายแล้วแข็งตัวแล้วตัวจับยึดก็就会被ถอดออกและหัวเชื่อมจะถูกหดรัดกลับ ตอนนี้ชิ้นส่วนพลาสติกทั้งสองชิ้นเข้าร่วมรวมกับว่าหล่อขึ้นรูปด้วยกันและนำออกจากแท่นวางชิ้นงาน

หัวเชื่อมเคลื่อนที่

ออกจากชิ้นงาน



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนหัวเชื่อมเคลื่อนที่ออกจากชิ้นงานของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค

ปัจจัยสำคัญของการเชื่อมพลาสติกด้วยคลื่นอัลตราโซนิค

1. ขนาดของแท่งหัวเชื่อม (Horn) และตัวแปลง
2. แรงดันของหัวเชื่อม
3. เวลาในการเชื่อม

4. เวลาการเซตตัวของรอยเชื่อม

ข้อดีของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค

1. รวดเร็ว ใช้เวลาในกระบวนการเชื่อมน้อย
2. สะอาด ไม่เกิดเศษของเสียระหว่างกระบวนการ
3. ใช้พลังงานในกระบวนการน้อย
4. ไม่ต้องการตัวทำลายในกระบวนการ

ข้อเสียของการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค

1. ข้อจำกัดเกี่ยวกับขนาดและความหนาของชิ้นงานต้องเป็นไปตามความสามารถของหัวเชื่อม
2. หากมีการเปลี่ยนแปลงชิ้นงาน จะต้องมีการตั้งค่าการเชื่อมใหม่เพื่อให้เหมาะสมกับชิ้นงาน

(2) การเชื่อมแบบเหนี่ยวนำ (Induction welding)

การเชื่อมแบบเหนี่ยวนำทำได้โดยการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังสูงกับชิ้นงานเชื่อมแบบ ferromagnetic โดยหลักการของการเหนี่ยวนำชิ้นส่วนเชื่อมจะถูกทำให้ร้อนและสามารถนำไปใช้กับวัสดุเชื่อมได้ กระบวนการนี้เชื่อมใช้ขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อกระตุ้นและสร้างความร้อนของวัสดุที่ไวต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่วนต่อประสานและหลอมเทอร์โมพลาสติก

(3) การเชื่อมแบบสั่น (Vibration welding)

การเชื่อมแบบสั่นเหมาะสำหรับการเชื่อมผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ที่ต้องการความแน่นหนาหรือการเชื่อมที่มีความแข็งแรงสูง การเชื่อมแบบนี้ใช้สำหรับชิ้นส่วนรถยนต์ชิ้นส่วนเครื่องใช้และวัสดุก่อสร้างกระบวนการที่ชิ้นงานสองชิ้นสัมผัสกันภายใต้ความกดดันและมีการเคลื่อนไหวแบบลูกสูบ (การสั่นสะเทือน) ตามแนวอินเตอร์เฟสทั่วไปจนเกิดความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะละลายชิ้นงานและจะเกิดรอยเชื่อมเมื่อการสั่นสะเทือนหยุดและอินเตอร์เฟสจะเย็นลง การสั่นสะเทือนสามารถทำได้ทั้งผ่านการเชื่อมการสั่นสะเทือนแบบเชิงเส้นซึ่งใช้การเคลื่อนที่ไปมาหนึ่งมิติหรือการเชื่อมการสั่นสะเทือนแบบวงซึ่งจะย้ายชิ้นงานในวงโคจรขนาดเล็กที่สัมพันธ์

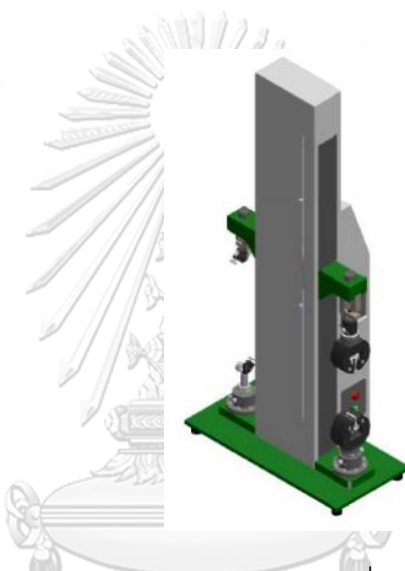
(4) การเชื่อมแบบกระตุ้น (Impulse welding)

การเชื่อมแบบกระตุ้นเป็นการเปลี่ยนรูปแบบของการเชื่อมแบบแบ่งความร้อนโดยที่แบ่งความร้อนจะถูกแทนที่ด้วยลวดแบบบางของนิโครม (Nichrome) ที่อยู่ด้านหลังการเคลือบ PTFE หรือฟิล์ม ในระหว่างรอบการทำความร้อนกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งผ่านไปตามลวดทำให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว

ในช่วงสุดท้ายของวงจรการทำความร้อนกระแสไฟฟ้าจะถูกปิดและลวดจะเย็นลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากมวลความร้อนต่ำ พิล์มที่รวมกันยังคงอยู่ภายใต้ความกดดันตลอดระยะเวลาของรอบการทำความเย็นด้วยวิธีนี้ชิ้นส่วนที่ถูกเชื่อมจะได้สัมผัสกับระบบการทำความร้อนและความเย็นที่ควบคุมได้เป็นอย่างดีในขณะที่ยังคงถูกควบคุมภายใต้ความกดดัน

2.1.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดึง

เครื่องวัดแรงดึงที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาใช้ในการทดสอบความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษาคือ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B



รูปที่ 2.13 Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

(1) คุณสมบัติของเครื่องวัดความต้านทานแรงดึง

คุณสมบัติของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B มีดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

หัวข้อ	รายละเอียด
สมรรถภาพ	แรงสูงสุดสำหรับแรงดึงและแรงกดคือ 20 กิโลนิวตัน
	แรงต่ำสุดสำหรับแรงดึงและแรงกดคือ 2 กิโลนิวตัน
ขอบเขตในการวัดข้อมูล	0.001 - 20 กิโลนิวตัน
การใช้งาน	วัสดุโลหะ พลาสติก สิ่งทอ ผ้า วัสดุเชิงประกอบ
การขับเคลื่อน	สกรู (เซอร์โวมอเตอร์และเกียร์)

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
เซอร์โวมอเตอร์	10 กิโลวัตต์ / 3000 รอบต่อนาที
ขนาดของสกรู	40 x 10 มิลลิเมตร : คอลัมน์
โครงสร้างพื้นฐาน	ความแข็ง ~650 นิวตันต่อไมโครเมตร
	รับแรงได้สูงสุด 100 กิโลนิวตัน
ความปลอดภัย	ลิมิตสวิตช์สำหรับจำกัดแรงในการทำงาน
แหล่งจ่ายกำลัง	220V/AC

(2) ระบบในการวัดข้อมูล ระบบข้อมูลต่างๆดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ระบบการวัดข้อมูลของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

หัวข้อ	รายละเอียด
ความแม่นยำของน้ำหนักถ่วง	2 มิลลิโวลต์ต่อโวลต์
น้ำหนักที่สามารถใช้ได้	4 ขนาดได้แก่ 0.5,2,10 และ 50 กิโลนิวตัน
เครื่องขยายแรงและอุปกรณ์อ่าน	24 bit
การตรวจจับตำแหน่ง	โรตารีเอนโคเดอร์ 1000 พัลส์
เครื่องขยายเอนโคเดอร์และอุปกรณ์นับ	24 bit
อัตราการสุ่มตัวอย่าง	400 เฮิร์ต
หน่วยการวัด	เอสไอ (SI),เมตริก (Metric)
หน่วยของแรง	กิโลนิวตัน (kN),นิวตัน (N),กิโลกรัมฟอส (kgf)

ตารางที่ 2.5 ระบบการวัดข้อมูลของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B (ต่อ)

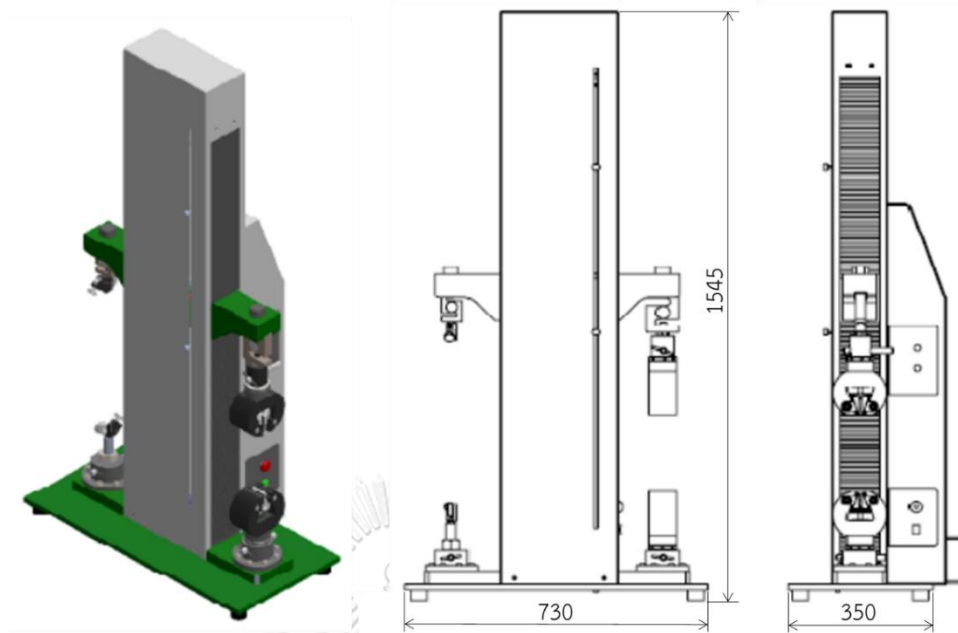
หัวข้อ	รายละเอียด
ความแม่นยำ	Conforms to JIS B7721,ISO 7500-1 BS1610
	DIN51221 Class 1 and ASTM E4 EN 10002-2 Grade 1 0
ความเร็ว	0.005~1000 มิลลิเมตรต่อนาที ความ แม่นยำ $\pm 0.01\%$
ประสิทธิภาพของจังหวะ	1000 มิลลิเมตร / 1450 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

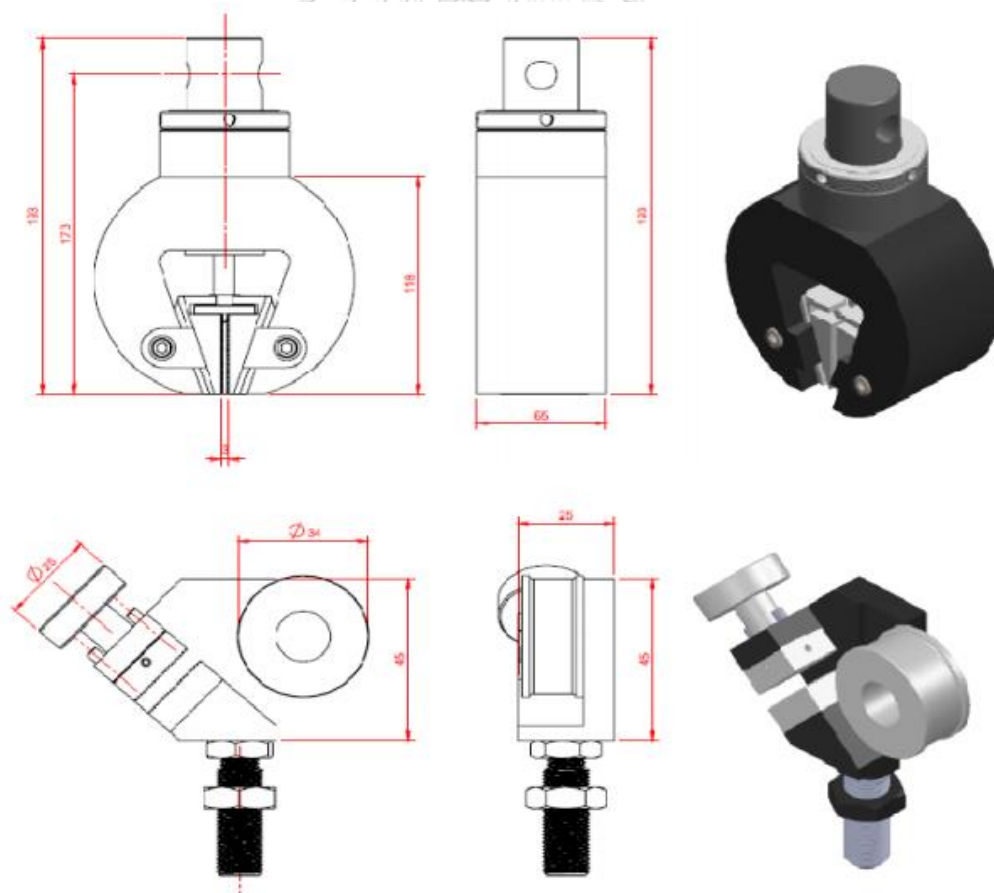
หัวข้อ	รายละเอียด
ความเร็วย้อนกลับ	1000 มิลลิเมตรต่อนาที
ความละเอียดของตำแหน่ง	0.001 มิลลิเมตร ความแม่นยำ $\pm 0.01\%$
การวัดแรง	อัตราความจุโหลดเซลล์ 1/500000
ความสามารถในการรับแรงเกินกำลัง	120% ของน้ำหนัก

(3) ขนาดของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B มีขนาดดังรูปที่ 2.14 และขนาดของตัวตั้งชิ้นงานมีขนาดดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ขนาดของเครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B



รูปที่ 2.15 ขนาดของตัวดึงชิ้นงานของ Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

2.1.5 คุณสมบัติของวัสดุของชิ้นงานในกรณีศึกษา

ชิ้นงานในกรณีศึกษาเป็นชิ้นงานพลาสติกที่ผลิตจากกระบวนการฉีดพลาสติก เป็นการนำชิ้นงานพลาสติก 2 ชิ้นมาประกอบกัันด้วยวิธีการเชื่อมแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic welding) ซึ่งชิ้นงานพลาสติก 2 ชิ้นดังกล่าวนี้ถูกผลิตจากพลาสติกชนิด PP เหมือนกัน แต่ประเภทย่อยของ PP ของชิ้นงานทั้งสองชนิดนี้ต่างกัน กล่าวคือชิ้นงานในกรณีศึกษา A ผลิตจาก AP-BP31 ส่วนชิ้นงานในกรณีศึกษา B และ C ผลิตจากวัสดุ AP-BP2 คุณสมบัติของวัสดุทั้งสองชนิดดังกล่าวมีดังนี้

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติของวัสดุ PP-APBP2 และ PP-APBP31

Item		Test Method	ISO	Unit	AP-BP2	AP-BP31
Density	-	K7112	ISO1183	g/cm ³	0.91	1.05
Tensile						
Yield strength	-	K7161	ISO527-2	Mpa	20	19
Flexural	-					
Yield strength	-	K7171	ISO178	Mpa	25	30
Modulus	-	K7171	ISO178	Mpa	1,150	2100
Charpy Impact value	23°C	K7111	ISO179/1eA	kJ/m ²	50	40
	30°C		ISO179/1eA	kJ/m ²		4.2
Melt Flow Rate	-	-	ISO1133	g/10min	22	42

2.1.6 เครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิก

เครื่องเชื่อมพลาสติกที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาใช้ในการเชื่อมชิ้นงานในกรณีศึกษาทั้งสามชิ้นงาน (ชิ้นงาน A,B และ C) เป็นเครื่องเชื่อมแบบอัลตราโซนิกยี่ห้อ SHIDENSHA ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องเชื่อมนี้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (GENERATOR) และเครื่องแปลงความถี่ (Transducer)

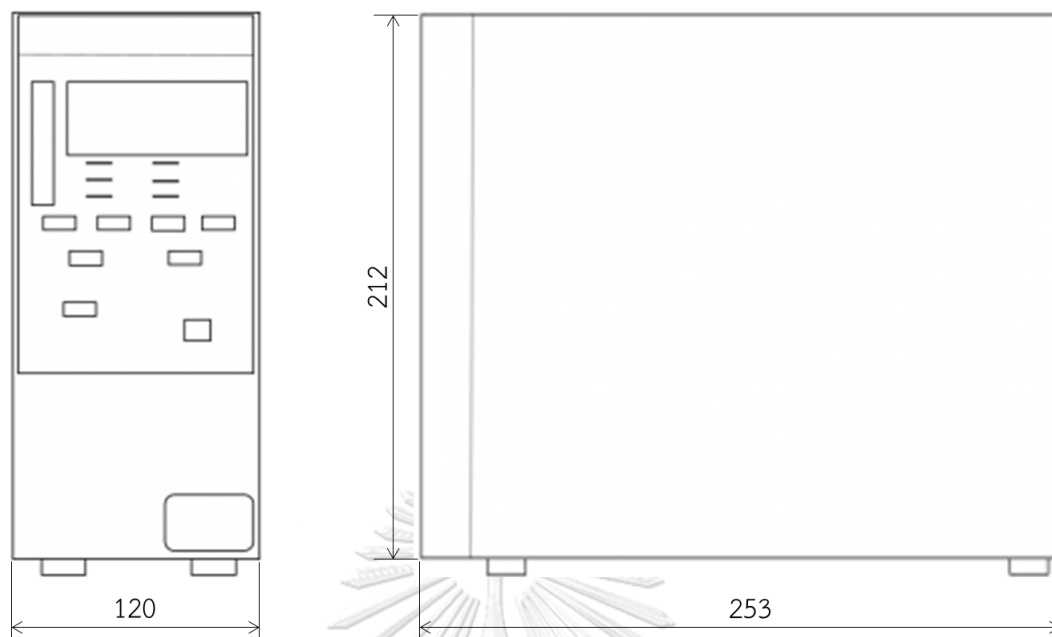
ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาใช้เครื่อง รุ่น SONOPET 436D GENERATOR โดยมีคุณสมบัติดังตารางที่ 2.7 และมีรูปร่างลักษณะรวมถึงขนาดดังรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D

หัวข้อ	รายละเอียด
ชื่อรุ่น	SONOPET 436D
เอาต์พุตปกติ	350 วัตต์
เอาต์พุตสูงสุด	420 วัตต์
เอาต์พุตสม่ำเสมอ	170 วัตต์
ความถี่	28.5 กิโลเฮิรต์
แหล่งพลังงาน	AC100V-240V±10%
วิธีการควบคุม	Digital PLL Frequency Automatic Tracking
ขนาด (มิลลิเมตร)	กว้าง 80 x ลึก 220 x สูง 260
ความปลอดภัย	CE marking,EMC,LVD certification



รูปที่ 2.16 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D



รูปที่ 2.17 ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D

ตารางการควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (GENERATOR) มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารุ่น SONOPET 436D

รูปแบบ (Mode)	รายละเอียด
เวลา (Time Mode)	เวลาสูงสุดที่สามารถกำหนดได้ในการเชื่อมคือ 9.999 วินาที
พลังงาน (Energy Mode)	หยุดทำงานเมื่อมีพลังงาน (จูล) ที่ใช้ถึงค่าที่กำหนดไว้
กำลังสูงสุด (Peak Power Mode)	หยุดทำงานเมื่อมีกำลัง (วัตต์) ที่ใช้ถึงค่าที่กำหนดไว้
AND / OR Mode	หลักการที่ใช้เพื่อระบุงการหยุดการทำงานโดยยึดตามพารามิเตอร์สองตัว(เวลา พลังงาน หรือกำลังสูงสุด)
การสั่นอย่างต่อเนื่อง (Continuous Oscillation Mode)	จำกัดอยู่ที่ประมาณ 50%ของผลผลิต

และเครื่องแปลงความถี่ (Transducer) ที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาใช้กับเครื่องเชื่อมยี่ห้อ SHIDENSHA รุ่น SONOPET 436D คือยี่ห้อ SHIDENSHA รุ่น G-type Hand-held Transducer



รูปที่ 2.18 รูปร่างและขนาดเครื่องแปลงความถี่หือ SHIDENSHA รุ่น G-type Hand-held

2.1.7 เครื่องตัดพลาสติกแบบอัลตราโซนิก

เครื่องตัดพลาสติกที่ใช้ในการตัดชิ้นงานในกรณีศึกษาเพื่อเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบ แรงดึงคือ Honda Ultrasonic Cutter USW-331Ti ซึ่งสามารถตัดชิ้นงานซึ่งผลิตจากพลาสติก ชนิด ABS,PP,PET และ Acrylic ที่มีความหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.9 ข้อมูลจำเพาะของ Honda Ultrasonic Cutter USW-331Ti

พลังงาน	30 วัตต์	
ความถี่	22 กิโลเฮิร์ต	
แหล่งพลังงาน	100V AC, $\pm 10\%$, 50/60Hz, 100 VA	
ขนาด	เครื่องหลัก	235 X 270 X 135 มิลลิเมตร
	ตัวจับ	$\varnothing 25$ X 190 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	3.1 กิโลกรัม	



รูปที่ 2.19 เครื่องตัดพลาสติกแบบอัลตราโซนิค Honda Ultrasonic Cutter USW-331Ti

2.1.8 ลวดเหล็กชุบสังกะสี (Galvanized steel wire)

มีลักษณะเป็นลวดผิวเรียบ สีสบรอนซ์เป็นมันวาวปราศจากรอยตำหนิและมีคุณสมบัติป้องกันการเกิดสนิม ทนทานต่อการกัดกร่อน การผลิตลวดชุบสังกะสีทำการผลิตโดยการนำเหล็กไวร์ร็อด (Wire Rod) ไปผ่านกระบวนการรีดเย็น (COLD DRAWN) เพื่อลดขนาดลวดจนได้ขนาดลวดที่ต้องการ จากนั้นจะนำลวดที่ได้ไปผ่านกระบวนการชุบเคลือบกัลวาไนท์/ชุบสังกะสี (HOT DIP GALVANIZED) เพื่อให้ลวดมีชั้นความหนาของแร่สังกะสีประมาณ $40 - 80 \text{ g/m}^2$

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติของลวดชุบสังกะสีขนาดต่างๆ

ASTM-B498 Zinc-coated(Galvanized) steelcore wire ACSR						
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความเครียดที่ส่วนขยาย 1%		ความต้านทานแรงดึง		การยืดตัวใน 250 มม	
	min Mpa		,min,Mpa		min,%	
	Class A	Class B	Class A	Class B	Class A	Class B
0.27 to 2.28	1310	1170	1450	1310	3	3
2.29 to 3.04	1280	1140	1410	1280	3.5	3

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติของลวดชุบสังกะสีขนาดต่างๆ (ต่อ)

ASTM-B498 Zinc-coated(Galvanized) steelcore wire ACSR						
เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความเครียดที่ส่วนขยาย 1%		ความต้านทานแรงดึง		การยืดตัวใน 250 มม	
	min Mpa		,min,Mpa		min,%	
	Class A	Class B	Class A	Class B	Class A	Class B
3.05 to 3.55	1240	1100	1410	1280	4	3
3.56 to 4.82	1170	1070	1380	1240	4	4

ตารางที่ 2.11 ขนาดมาตรฐานของลวดชุบสังกะสี

เบอร์ลวด	ขนาดลวด (มม.)	พิกัด +/- (มม.)	เบอร์ลวด	ขนาดลวด (มม.)	พิกัด +/- (มม.)
#6	5	0.05	#16	1.6	0.05
#7	4.4	0.05	#17	1.4	0.05
#8	4	0.05	#18	1.25	0.05
#9	3.65	0.05	#19	1.07	0.05
#10	3.2	0.05	#20	0.89	0.05
#11	3	0.05	#22	0.71	0.05
#12	2.65	0.05	#24	0.56	0.05
#13	2.4	0.05	#26	0.46	0.05
#14	2	0.05	#28	0.36	0.05
#15	1.8	0.05	#30	0.3	0.05

2.1.9 การออกแบบการทดลอง [2]

(1) การทดลองซ้ำ (Replication) การทดลองซ้ำมีคุณสมบัติสำคัญ 2 ประการคือ

(1.1) ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้
ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้เป็นหน่วยวัดขั้นพื้นฐานในการพิจารณาความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่

(1.2) ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องในการประมาณผลกระทบในกรณีที่ใช้ค่าเฉลี่ยในการประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง

(2) การสุ่ม (Randomization)

เป็นพื้นฐานสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง เป็นการทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) ต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การสุ่มทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การทดลองแบบสุ่มทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) บล็อกกิง (Blocking)

เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) กับการทดลอง การเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆที่น่าสนใจภายในแต่ละบล็อกจะเกิดได้จากการทำบล็อกกิง

2.1.10 การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design)

เป็นการรวมเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร มีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

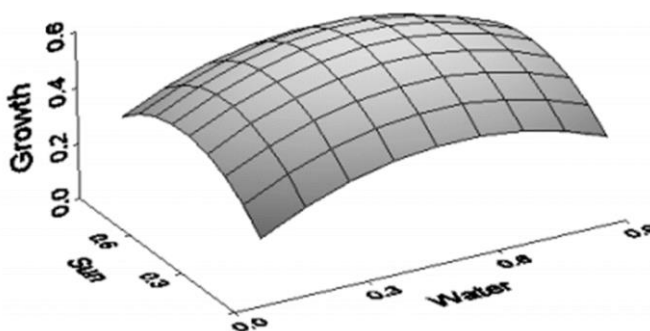
$$y = f(X_1, X_2) + \epsilon \quad (2-3)$$

โดยที่ ϵ คือค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง

หากกำหนดว่า $E(y) = \eta = f(X_1, X_2)$ จะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\eta = y = f(X_1, X_2) \quad (2-4)$$

โดยมากแล้วจะแสดงพื้นผิวตอบในรูปแบบของกราฟฟิก โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ X_1 และ X_2 เพื่อช่วยในการมองรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น ในการสร้างโครงร่างเส้นที่มีค่าของผลตอบคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ X_1 และ X_2 เส้นโครงร่างแต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบเท่ากันที่ค่าหนึ่ง



รูปที่ 2.20 พื้นผิวตอบแบบสามมิติ

2.1.11 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนเป็นการออกแบบสามระดับสำหรับฟิตพื้นผิวผลตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุน

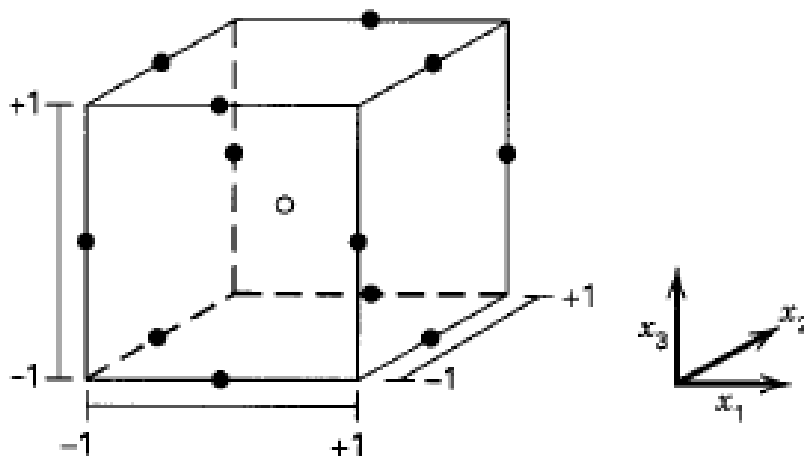
การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใด ๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรแต่ละตัวเอาไว้ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์คือการรวมระดับของปัจจัย (Factor-Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลองเนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ

ตารางที่ 2.12 การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนแบบ 3 ตัวแปร

Run	ปัจจัยที่1	ปัจจัยที่2	ปัจจัยที่3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1

ตารางที่ 2.13 การออกแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนแบบ 3 ตัวแปร (ต่อ)

Run	ปัจจัยที่1	ปัจจัยที่2	ปัจจัยที่3
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0



รูปที่ 2.21 การออกแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนแบบ 3 ตัวแปร

2.1.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาค่าเฉลี่ยของประชากร 2 ชุดแต่ต้องการทดสอบครั้งเดียว ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนองหรือคุณลักษณะทางคุณภาพ แบ่งได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained Variation) คือความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัยหรือวิธีการปฏิบัติที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

2. ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variation) คือความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากขาดความรู้หรือไม่สามารถควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในการทดลองได้

2.1.13 การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย [2]

การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอยคือการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบ y และเซตย่อยของตัวแปรถดถอย X_1, X_2, \dots, X_k หรือไม่ สมมติฐานที่เหมาะสมคือ

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \neq 0 \text{ for at least one } j$$

การปฏิเสธ H_0 บอกให้ทราบว่าอย่างน้อยตัวแปรถดถอย X_1, X_2, \dots, X_k หนึ่งตัวจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญ วิธีในการทดสอบจะทำได้จากการแบ่งผลรวมทั้งหมดของกำลังสอง (SS_T) ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนออกเป็นผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากแบบจำลองหรือการถดถอยและผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากส่วนตกค้างหรือความผิดพลาดกล่าวคือ

$$SS_T = SS_R + SS_E$$

ถ้าสมมติฐานศูนย์ $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ เป็นจริงแล้ว SS_R / σ^2 จะมีการกระจายแบบ X_k^2 โดยที่ระดับชั้นความเสรีของ X_k^2 เท่ากับจำนวนของตัวแปรการถดถอยในแบบจำลอง และสามารถแสดงได้ว่า SS_E / σ^2 มีการกระจายแบบ X_{n-k-1}^2 และ SS_E, SS_R จะเป็นอิสระ วิธีการในการทดสอบ $H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$ คือการคำนวณ

$$F_0 = \frac{\frac{SS_R}{k}}{\frac{SS_E}{n-k-1}} = \frac{MS_R}{MS_E}$$

จะปฏิเสธ H_0 เมื่อ F_0 มีค่ามากกว่า $F_{\alpha, k, n-k-1}$ ซึ่งสามารถใช้วิธีการ P-value เพื่อที่จะทดสอบสมมติฐานได้ ซึ่งจะปฏิเสธ H_0 เมื่อ P-value สำหรับค่าสถิติ F_0 น้อยกว่า α

2.1.14 การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัวหรือเป็นกลุ่ม [2]

การเติมตัวแปรเข้าไปในแบบจำลองการถดถอยจะทำให้ผลรวมของกำลังสองสำหรับภารถดถอยมีค่าเพิ่มขึ้นและค่าผิดพลาดของผลรวมกำลังสองมีค่าลดลง จึงต้องตัดสินใจว่าการเพิ่มขึ้น

ของผลรวมกำลังสองของการถดถอยนั้นส่งผลถึงการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในแบบจำลองหรือไม่ สมมติฐานที่ใช้สำหรับสมมติฐานนี้คือ

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_0 : \beta_j \neq 0 \text{ for at least one } j$$

ถ้า $H_0 : \beta_j = 0$ ไม่ถูกปฏิเสธแล้วจะหมายความว่า X_j สามารถถูกตัดทิ้งออกจากแบบจำลองได้

2.1.15 การวิเคราะห์ผล

(1) การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน

P-Value คือความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกตในทางสถิติเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง ดังนั้น P-Value นี้จะแสดงถึงน้ำหนักของหลักฐานที่จะใช้ในการปฏิเสธ H_0 และสามารถสร้างข้อสรุปที่ระดับนัยสำคัญอื่นๆได้ นอกจากนี้สามารถนิยาม P-Value ได้ว่าเป็นค่าที่น้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0

ค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อสมมติฐานหลัก H_0 ถูกปฏิเสธ ดังนั้นการพิจารณา ค่า P-Value ได้ว่าเป็น α ที่น้อยที่สุดซึ่งทำให้ข้อมูลมีนัยสำคัญ

(2) การตรวจสอบสมมติฐานในการทดสอบ t

การทดสอบ t (t-test) เป็นการทดสอบที่ตัวอย่าง 2 ค่าที่ได้มาจากกลุ่มประชากรที่เป็นอิสระและสามารถอธิบายโดยการแจกแจงแบบปกติ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนของตัวอย่างทั้ง 2 มีค่าเท่ากันและค่าสังเกตเป็นตัวแปรสุ่มอิสระ สมมติฐานนี้เป็นที่ยอมรับได้ก็ต่อเมื่อมีลำดับการเก็บข้อมูลเป็นแบบสุ่มและมีการแจกแจงแบบปกติ

2.1.16 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination : R^2)

การทดสอบความเหมาะสมของสมการต้นแบบด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เป็นค่าที่ใช้อธิบายความสามารถของสมการถดถอยหรือตัวแปรอิสระในสมการถดถอยที่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนองหรือตัวแปรตามได้ในสัดส่วนเท่าใด ในการตัดสินใจมีความไวในการเปลี่ยนแปลงคือเมื่อเปลี่ยนแปลงจากจำนวนตัวแปรอิสระในสมการจะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป จึงนิยมใช้ค่าที่ทำการปรับค่าแล้วคือ (R_{adj}^2) แทน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Wang et al. (2015) [3]

ทำการวิจัยสำหรับการควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อมในการเชื่อมพลาสติกโดยการเชื่อมแบบอัลตราโซนิก เนื่องจากคุณภาพของรอยเชื่อมโดยการเชื่อมแบบอัลตราโซนิกนั้นสามารถตรวจสอบได้หลังจากเสร็จจากกระบวนการเชื่อมแล้วไม่สามารถตรวจสอบได้ในระหว่างทำการเชื่อมรวมถึงไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมแต่ละครั้งนั้นจะมีผลเป็นอย่างไร จากการเก็บข้อมูลด้วยปัจจัย 3 ปัจจัยคือ ขนาดของรอยเชื่อม ความแข็งแรงของรอยเชื่อม และพลังงานที่ใช้ในการเชื่อม พบว่าผลลัพธ์ของความแข็งแรงของรอยเชื่อมและขนาดของรอยเชื่อมมีการกระจายอย่างมีนัยสำคัญ ภายใต้เงื่อนไขและปัจจัยเดียวกัน ซึ่งการกระจายบางส่วนนั้นมาจากความผันแปรของคุณภาพของรอยเชื่อมในแต่ละครั้ง

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิขณะดำเนินการเชื่อมชิ้นงานระหว่างหัวเชื่อมและผิวชิ้นงานที่หัวเชื่อมสัมผัส อุณหภูมิระหว่างผิวชิ้นงานทั้งสองชิ้น เพื่อเปรียบเทียบกับเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางในแต่ละช่วงเวลาซึ่งวัดค่าโดยเทอร์โมคัปเปิล พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายของพลังงานที่ใช้ขณะกระบวนการเชื่อมและการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางในแต่ละช่วงเวลา พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ศึกษาความสัมพันธ์ของความแข็งแรงของรอยเชื่อมและการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางในระยะต่าง ๆ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของรอยเชื่อมและช่องว่างระหว่างชิ้นงานที่นำมาทำการเชื่อม 2 ชิ้น (0,1 และ 2 มิลลิเมตร) พบว่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมมีค่าลดลงเมื่อช่องว่างระหว่างชิ้นงานมีค่ามากขึ้น

คุณสมบัติของปัจจัยข้างต้นที่ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์มานั้นเห็นได้ว่าเทคโนโลยีในปัจจุบันสามารถทำการตรวจสอบคุณภาพของงานเชื่อมในขณะที่ทำการเชื่อมอยู่ การทำงานของการตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมโดยมีปัจจัยหลัก 3 อย่างคือ เคลื่อนที่ของหัวเชื่อมจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง เวลาในการเชื่อมและพลังงานในการเชื่อม สามารถตั้งค่าได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าทั้งสามชนิด และตั้งค่าที่เป็นมาตรฐานของชิ้นงานในกระบวนการเชื่อมแต่ละครั้งหากไม่ได้ค่าตามมาตรฐานที่ตั้งไว้ เครื่องเชื่อมจะทำการเชื่อมช้าจนกว่าค่าจะเป็นไปตามมาตรฐาน

IRENE FERNANDEZ VILLEGAS, HARALD E. N. BERSEE (2010) [4]

ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงและคุณภาพของรอยเชื่อมที่ผ่านการเชื่อมแบบอัลตราโซนิกโดยใช้ทิศทางของพลังงาน (Energy Direction) และรูปแบบการกระจายพลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความแตกต่างกันที่รูปแบบของชิ้นงาน ซึ่งทำการวิจัยกับพลาสติกชนิดเทอร์พลาสติกชนิดโพลีเอทิลีนไฮดรอกซีคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด $4 \times 25.4 \times 2$ มิลลิเมตร โดยการทดลองนี้ตั้งค่าความถี่ของเครื่องเชื่อมพลาสติกไว้ที่ 20 กิโลเฮิร์ต ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองที่ทำการควบคุมได้แก่เวลาในการเชื่อม 3.5 วินาที เวลาพักหลังการเชื่อม 3 วินาที แรงดันในการเชื่อม 4 เมกะปาสกาล (MPa) และ แอมพลิจูดของการสั่น 50 ไมโครเมตร จากนั้นทำการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D3163-01 รูปแบบของชิ้นงานที่แตกต่างกันในการทดลองนี้มี 3 แบบ คือ ตามแนวขวาง ตามแนวขนาน และตามแนวขนานแบบคู่ขนาน จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ระยะที่ชิ้นงานเกาะกันสามารถทำให้คุณภาพของรอยเชื่อมดีขึ้นเมื่อใช้รูปแบบของชิ้นงานที่มากขึ้น ตำแหน่งและทิศทางไม่ส่งผลต่อพื้นที่ที่ชิ้นงานเกาะกัน
2. ทิศทางของพลังงานที่หลากหลายส่งผลกับการลดความหนาของไฟเบอร์ของชิ้นงานเชื่อม
3. รูปแบบของชิ้นงานตามขวางสามารถสร้างจำนวนการกระจายต่อพื้นที่ได้น้อยกว่ารูปแบบของชิ้นงานตามขนาน
4. จำนวนของเรซินที่มากเกินไปของผิวสัมผัสของชิ้นงานเชื่อมส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Srushti A. Trivedi, Jitendra J. Thakkar, Raviprakash C. Patel, Praful H.

Suthar (2017) [5]

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญของปัจจัย 3 ปัจจัยในการเชื่อมพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) แบบอัลตราโซนิกด้วยเครื่องเชื่อม USP3000-2000 ซึ่งข้อมูลของเครื่องเชื่อมคือ 2,500 วัตต์ 20 กิโลเฮิร์ต ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้เป็นชิ้นงานจากพลาสติกชนิดโพลีโพรพิลีน (PP) ทั้งสองชิ้นมีระยะการเกาะกันระหว่างทำการเชื่อม 6 มิลลิเมตร โดยปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่ แรงดันในการเชื่อม (บาร์ : bar) เวลาในการเชื่อม (วินาที) และแอมพลิจูดของโซโนโทรด (%) โดยขอบเขตในการทดลองของแต่ละปัจจัยมีดังนี้ แรงดันในการเชื่อม : 1-4 บาร์ เวลาในการเชื่อม : 0.5-3 วินาที และแอมพลิจูดของโซโนโทรด : 60-100 % หลังจากทำการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญดังนี้

แรงดันในการเชื่อมและเวลาในการเชื่อมมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ เวลาในการเชื่อมและแอมพลิจูดของโซโนโทรดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ และแรงดันในการเชื่อมและแอมพลิจูดของโซโนโทรดมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ

Umang Parmar, D. H. Pandya (2016) [6]

ศึกษาความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญของปัจจัย 3 ปัจจัยในการเชื่อมพลาสติกชนิด Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) แบบอัลตราโซนิคด้วยเครื่องเชื่อม USP3000-3000 ซึ่งข้อมูลของเครื่องเชื่อมคือ Input power 3,000 วัตต์ Output frequency 20 กิโลเฮิร์ต โดยปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่ แรงดันในการเชื่อม(bar) เวลาในการเชื่อม(วินาที) และแอมพลิจูดของโซโนโทรด(%) โดยขอบเขตในการทดลองของแต่ละปัจจัยมีดังนี้ แรงดันในการเชื่อม : 1,1.5 และ 2 bar เวลาในการเชื่อม : 1,1.25 และ 1.5 วินาที และแอมพลิจูดของโซโนโทรด : 70,80 และ 90 % โดยที่ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองของงานวิจัยนี้เตรียมตามมาตรฐาน ASTM (D 638-02a) ขนาด 150 x 200 x t3.0 มิลลิเมตร ทำการทดลอง 20 ครั้ง แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงของจุดเชื่อมด้วยการทดสอบแรงดึง งานวิจัยนี้วิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อระบุผลกระทบที่สำคัญของปัจจัยและการวิเคราะห์การถดถอยต้องปฏิบัติตามเพื่อปรับค่าปัจจัยให้เหมาะสมเพื่อความแข็งแรงสูงสุด จากผลการทดลองของงานวิจัยนี้สรุปได้ดังนี้

1. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายความแข็งแรงของรอยเชื่อมสูงสุดของรอยเชื่อมที่ผลิตโดยการเชื่อมแบบอัลตราโซนิค
2. พบว่าความแข็งแรงในการเชื่อมขึ้นอยู่กับค่าของแอมพลิจูดส่วนใหญ่แล้วตามปริมาณของความดันในการเชื่อม
3. ที่แรงดัน 0.3125 bar ความแข็งแรงในการเชื่อมเริ่มมีค่าลดลง สำหรับค่าคงที่ของแอมพลิจูดและเวลาเชื่อม เนื่องจากความดันที่เพิ่มขึ้นจะลดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างพื้นผิวและนำไปสู่การลดพื้นที่สัมผัส
4. ความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ปรับให้เหมาะสมนั้นมีค่าสูงสุด 6.05 MPa ที่ความดัน 1.5 bar เวลาเชื่อม 1.25 วินาทีและแอมพลิจูด 96.82%

Takao HIRAI, Fumiyasu KURATANI, Tatsuya YOSHIDA and Saiji WASHIO

(2015) [7]

ศึกษาพฤติกรรมพลวัตของผิวสัมผัสของชิ้นงาน ณ เวลาที่เริ่มต้นการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิค โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ Finite element dynamic contact ซึ่งการทำนายนี้จะ

ทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดค่าได้และสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่เหมาะสมของผิวสัมผัสของชิ้นงาน นอกจากนี้พฤติกรรมพลวัตของผิวสัมผัสจะถูกตรวจสอบเมื่อหัวเชื่อมมีการสั่นที่ค่าความถี่ที่แตกต่างกัน 2 ค่าคือ 15 กิโลเฮิร์ตและ 19 กิโลเฮิร์ต การทำนายพฤติกรรมพลวัตเริ่มต้นโดยการทดสอบจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายและกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายที่เหมาะสมโดยการเปรียบเทียบการทำนายกับข้อมูลที่วัดค่าไว้ ต่อมาตรวจสอบความแตกต่างของพฤติกรรมพลวัตของผิวสัมผัสของผิวสัมผัสเมื่อหัวเชื่อมมีค่าความถี่ที่แตกต่างกับคือ 15 กิโลเฮิร์ตและ 19 กิโลเฮิร์ต ผลการทำนายแสดงให้เห็นว่าผิวสัมผัสของชิ้นงานส่งผลต่อพฤติกรรมพลวัตของชิ้นงาน พฤติกรรมพลวัตที่ค่าความถี่ 15 กิโลเฮิร์ต สามารถพิสูจน์ได้ว่าชิ้นงานขึ้นบนเคลื่อนที่เข้ามาชนกับชิ้นงานชิ้นล่างซ้ำๆที่ผิวสัมผัสและระยะทางที่เปลี่ยนไปของผิวสัมผัสที่ค่าความถี่ 15 กิโลเฮิร์ต มีค่าใหญ่กว่า 19 กิโลเฮิร์ต สรุปได้ว่าที่ค่าความถี่ 15 กิโลเฮิร์ตทำให้ชิ้นงานจากการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิคมีคุณภาพสูงกว่าค่าความถี่ 19 กิโลเฮิร์ต

Patrikios et al. (2012) [8]

ศึกษาการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์การเชื่อมแบบอัลตราโซนิค โดยที่ทำการตั้งค่าการติดตั้งหัวเชื่อมจะถูกติดตั้งและจัดแนวแกนเอง จัดวางตำแหน่ง และสามารถถอดเปลี่ยนได้ เนื่องจากการติดตั้งหัวเชื่อมในปัจจุบันต้องอาศัยความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้ง เพื่อความสะดวกในการใช้งานของเครื่องเพื่อให้หัวเชื่อมและรอยเชื่อมตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งการติดตั้งแบบนี้สามารถกำหนดตำแหน่งหัวเชื่อมและรอยเชื่อมโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 ไมโครเมตร ข้อดีของการติดตั้งแบบนี้ได้แก่ความปลอดภัยของเครื่องเชื่อมในแต่ละแกน ลดการเคลื่อนที่และการส่งพลังงานของหัวเชื่อมไปยังแนวเชื่อม รวมถึงเครื่องเชื่อมมีการจัดแนวเชื่อมด้วยตัวเองและยังมีความแม่นยำสูง

Jan Thaerigen (2014) [9]

ศึกษาชุดการสั่นของการเชื่อมแบบอัลตราโซนิคเพื่อการถ่ายโอนการสั่นสะเทือนจากหัวเชื่อมไปสู่ชิ้นงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการประดิษฐ์โซโนโทรดซึ่งประกอบด้วยเพลลา หัวเชื่อม และอุปกรณ์เสริมซึ่งประกอบด้วยคอนเวอร์เตอร์ ในปัจจุบันความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ใช้ในการเชื่อมแบบอัลตราโซนิคมีตั้งแต่ 20 กิโลเฮิร์ตไปจนถึง 1 กิกะเฮิร์ต ชุดการสั่นสะเทือนนี้สร้างโดยโซโนโทรดซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงซึ่งสร้างความมั่นใจให้กับคุณภาพของรอยเชื่อม อีกทั้งการเปลี่ยนหัวเชื่อมยังสามารถทำได้ง่ายและใช้เวลาสั้นด้วยการหยุดการทำงานของเครื่องเชื่อม อีกทั้งสามารถทำงานได้

เมื่อแกนหมุนมีการหมุนในการต่างๆทั้งแนวตั้งและแนวนอน ระบบนี้เหมาะสำหรับการผลิตตะเข็บปิดผนึกของบรรจุภัณฑ์

PEI-CHUNG WANG,TROY,MI (US) (2015) [10]

ศึกษาระบบควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อมชิ้นงานพลาสติกแบบอัลตราโซนิคจากการควบคุมทิศทางของพลังงาน (Energy-Direction) เนื่องจากไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพของรอยเชื่อมได้ในระหว่างทำการเชื่อม ทำให้มีต้นทุนเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้องมีการเพิ่มงานและเวลาในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานหลังจากทำการเชื่อมชิ้นงานเสร็จ ผู้ทำวิจัยจึงคิดเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบและวิธีการปรับปรุงการเชื่อมโดยใช้ระบบการควบคุมทิศทางพลังงานระหว่างการเชื่อมโดยอัตโนมัติ ระบบมีการระบุตำแหน่งของหัวเชื่อมเพื่อควบคุมทิศทางพลังงานและกำหนดจุดการเชื่อมโดยอ้างอิงจากระยะระหว่างชิ้นงานและจุดวางชิ้นงาน ซึ่งตำแหน่งจะถูกอ้างอิงจากการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม

Syed Farhan Raza (2015) [11]

ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของรอยเชื่อมแบบอัลตราโซนิคของเทอร์โมพลาสติกซึ่งเทอร์โมพลาสติกที่ทำการศึกษาคือ ABSและPP โดยทำการทดลองที่มีปัจจัยที่แตกต่างกันได้แก่รูปแบบของพลังงาน (Energy Direction) ความถี่ แอมพลิจูด แรงที่ใช้ในการเชื่อม เวลาในการเชื่อม โดยทำการทดสอบความแข็งแรงของแรงเชื่อมโดยการทดสอบแรงเฉือน จากการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เวลาในการเชื่อมเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการเชื่อมของ ABและ PP ในการเชื่อมแบบอัลตราโซนิค
2. ในสภาวะการเชื่อมเดียวกัน ABS มีความต้านทานแรงเฉือนสูงกว่า PP
3. รูปแบบของพลังงาน TRI ส่งผลต่อความต้านทานแรงเฉือนได้ดีกับ ABS
4. รูปแบบของพลังงาน SEMI ส่งผลต่อความต้านทานแรงเฉือนได้ดีกับ PP
5. ABS ใช้ระดับปัจจัยการเชื่อมที่ต่ำกว่า PP ในความต้านทานแรงเฉือนใกล้เคียงกัน
6. รูปแบบของพลังงานที่สูงขึ้นส่งผลกับค่าความต้านแรงเฉือนของ ABS ในขณะที่ PP ไม่ส่งผล

สิทธิกร เลิศอริยสกุล (2018) [12]

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อลดของเสียจากกระบวนการพิมพ์โค้ดแบบหมึกลงบน ผลิตภัณฑ์กระป๋อง ซึ่งมีของเสียเกิดขึ้นใน2รูปแบบคือโค้ดลบและโค้ดขาด ของเสียจากโค้ดขาดคือการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเครื่องพิมพ์จากผลการวิเคราะห์พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการให้ความร้อน

ผิวกระป๋องคืออุณหภูมิระดับ แรงลมและระยะเวลาในการให้ความร้อน จากการออกแบบการทดลองโดยวิธีบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) และหาค่าที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองพบว่า กระป๋องประเภท Tin ใช้อุณหภูมิ512องศาเซลเซียส แรงลมระดับ3ระยะเวลาในการให้ความร้อน 0.66วินาที กระป๋องประเภท Aluminum ใช้ อุณหภูมิ309องศาเซลเซียส แรงลมระดับ3.5 ระยะเวลาในการให้ความร้อน 0.66 วินาที เป็นค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยผลลัพธ์จากการแก้ไข โดยการให้ความร้อนผิวกระป๋องก่อนพิมพ์ เครื่องพิมพ์ทำให้สามารถลดของเสียเนื่องจากโค้ดตกลง เหลือเพียง0.014เปอร์เซ็นต์สำหรับการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเครื่องพิมพ์ดำเนินการโดยการเพิ่มรอบการทำงานสะอาดหัวพิมพ์ เพิ่มรอบการทำงานสะอาดระบบผสมน้ำหมึก และปรับปรุงแผนการตรวจเช็คอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่อง ทำให้สามารถลดของเสียเนื่องจากโค้ดขาดลงเหลือเพียง0.006เปอร์เซ็นต์ ในการดำเนินการทั้งหมดส่งผลให้ของเสียโดยรวมจากสายการผลิตที่1 ลดลงจาก0.2เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง0.02เปอร์เซ็นต์ซึ่งได้ตามเป้าหมายที่โรงงานกำหนดไว้

ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ (2011) [13]

ศึกษาความสัมพันธ์ของของเสียฟองอากาศในกระบวนการทรายในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก เงื่อนไขของกระบวนการทรายได้แก่ความเร็วของลูกกลิ้ง อุณหภูมิของเตาอบ และแรงดึงพลาสติก โดยออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken) และวิเคราะห์โดยใช้วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Respond Surface Analysis) พบว่าเมื่อความเร็วของลูกกลิ้งมากขึ้นจะทำให้เกิดของเสียฟองอากาศลดลง เมื่ออุณหภูมิของเตาอบมากขึ้นทำให้ปริมาณของเสียฟองอากาศมีปริมาณลดลง ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียฟองอากาศน้อยที่สุดคือ ความเร็วของลูกกลิ้ง150รอบต่อนาที อุณหภูมิของเตาอบ85องศาเซลเซียสและแรงดึงพลาสติก400นิวตัน

ปิยวัฒน์ ตัณฑ์วณิช (2010) [14]

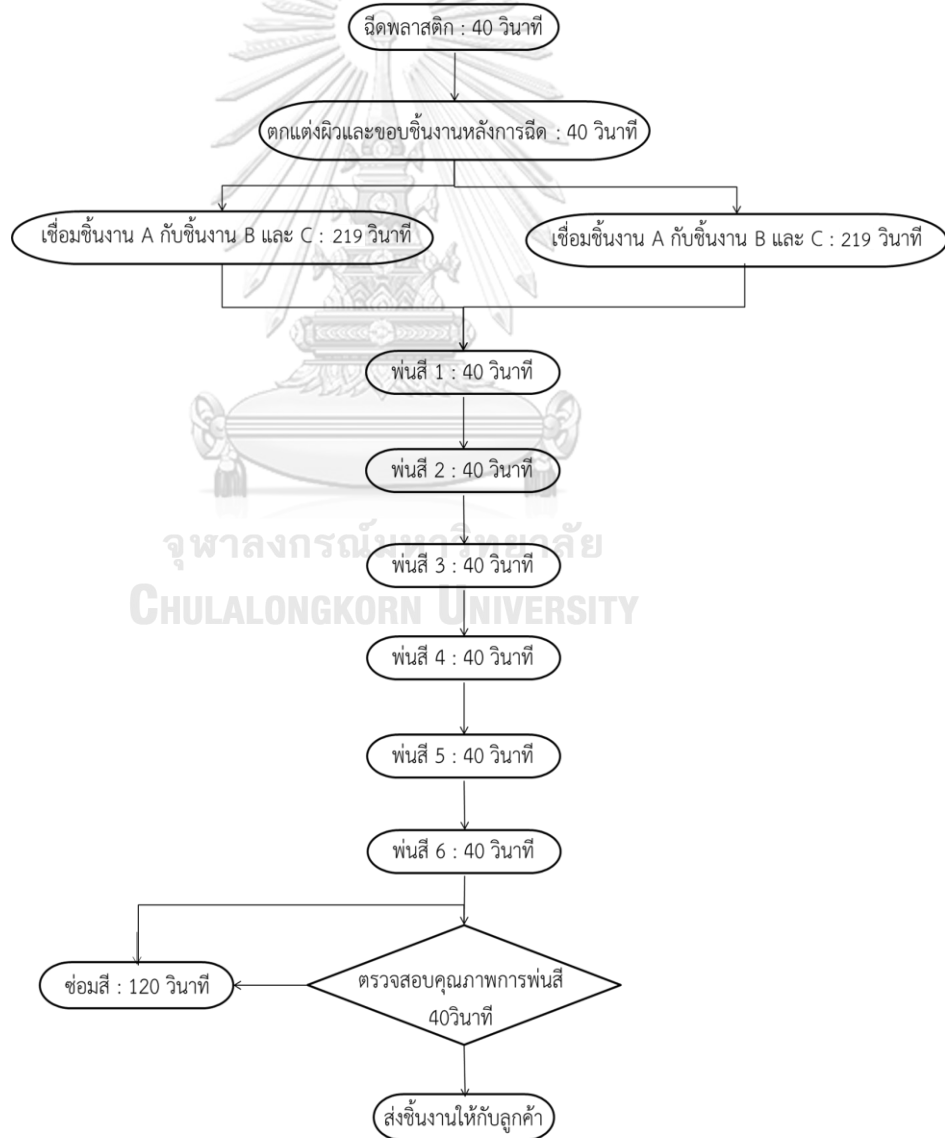
ศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนวัตถุระเบิดด้วยกระบวนการอิเล็กโตรเฟนตัน โดยการย่อยสลายของปัจจัยต่างๆดังนี้ ไตรไนโตรโทลูอิน เฮกซะไฮโดร ไนโตรเจน ไตรเอซีน ออกตะไฮโดร เตตระไนโตรและเตตระโซซีน ทำการวิเคราะห์โดยวิธีการพื้นผิวตอบสนองและการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดและอัตราการออกซิเดชันมีความสัมพันธ์กับค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ประสิทธิภาพในการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นลดลงเมื่อความเข้มข้นของใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สูงขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ปัญหาในการทดลอง

ในปัจจุบันโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษามีการทำงานล่วงเวลาสำหรับการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาเนื่องจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาไม่สามารถผลิตชิ้นงานได้ตามคำสั่งซื้อและคำสั่งผลิตภายในเวลาทำงาน จากการศึกษาระบวนการการผลิตของชิ้นงานในกรณีศึกษาดังรูปที่ 3.1 พบว่ากระบวนการที่เป็นกระบวนการคอขวดในการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษา คือกระบวนการเชื่อมชิ้นงาน



รูปที่ 3.1 กระบวนการผลิตของชิ้นงานในกรณีศึกษา

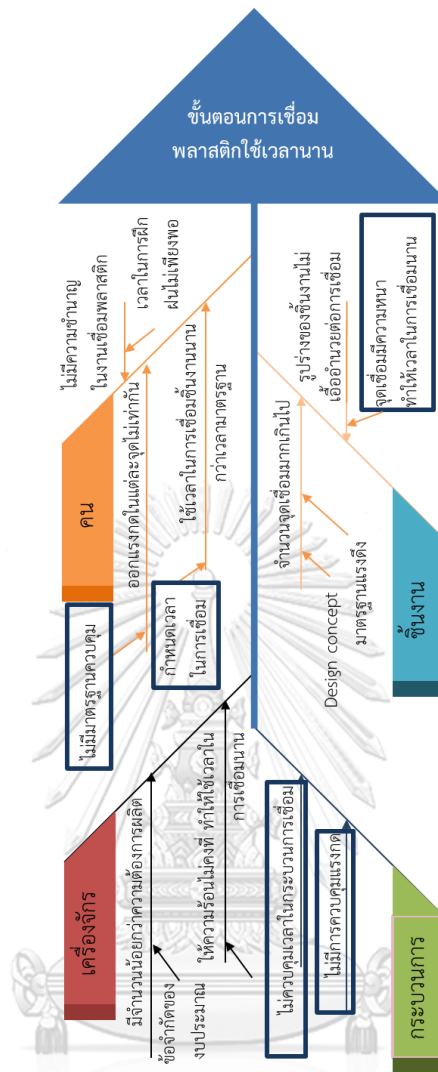
จากรูปที่ 3.1 พบว่ากระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดในกระบวนการ นั้นคือกระบวนการ เชื่อมพลาสติกเป็นกระบวนการคอคอดของกระบวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาโดยใช้เวลา 219 วินาที ในขณะที่กระบวนการอื่นใช้เวลา 40 วินาทีต่อจุดงาน ถึงแม้ว่ามีการทำสายการผลิตคู่ขนาน ของกระบวนการเชื่อมจาก 1 สายเป็น 2 สาย การผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษายังคงต้องมีการผลิต ในช่วงนอกเวลาการทำงาน และด้วยข้อจำกัดของงบประมาณและพื้นที่ทำให้ไม่สามารถเพิ่มจำนวน สายการผลิตของกระบวนการนี้ได้อีก ดังนั้นจึงทำงานตรวจสอบกระบวนการย่อยในกระบวนการ เชื่อมพลาสติกนี้พบกระบวนการย่อยดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กระบวนการย่อยของกระบวนการเชื่อมพลาสติก

จากรูปที่ 3.2 พบว่ากระบวนการที่นานที่สุดของกระบวนการเชื่อมพลาสติกคือขั้นตอนเชื่อมชิ้นงานคือใช้เวลาในการเชื่อมรวม 75 วินาทีต่อชิ้นงาน ดังนั้นทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาจึงต้องการลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมเพื่อเพิ่มจำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ต่อวัน เพื่อผลิตชิ้นงานให้ได้จำนวนที่ลูกค้าสั่งซื้อภายในเวลาการทำงาน รวมถึงต้องการลดการทำงานล่วงเวลาของพนักงานที่ต้องทำงานล่วงเวลาเนื่องจากต้องผลิตชิ้นงานให้ได้ตามจำนวนที่ตรงตามคำสั่งซื้อของลูกค้า แต่เนื่องจากทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษามีข้อกำหนดของจุดเชื่อมแต่ละจุดคือความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมต้องมีค่ามากกว่า 60 นิวตันต่อจุด หากต้องการลดเวลาที่ใช้ในขั้นตอนการเชื่อมพลาสติกจะต้องคำนึงถึงค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาไม่มีข้อกำหนดในส่วนของเวลาที่ใช้ในการเชื่อมรวมถึงปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง ดังนั้นจึงทำการพิสูจน์หาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องโดยที่สามารถลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและยังคงคุณสมบัติค่าความต้านทานแรงดึงที่ไม่น้อยกว่า 60 นิวตันต่อจุด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมเพื่อลดเวลาในกระบวนการเชื่อมพลาสติกของชิ้นงานในกรณีศึกษาเนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่ใช้เวลานานที่สุดในกระบวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษา เพื่อเพิ่มความสามารถในการผลิตให้ได้มากขึ้นเพื่อผลิตสินค้าได้ทันตามคำสั่งซื้อ กล่าวคือกระบวนการเชื่อมพลาสติกใช้เวลา 219 วินาทีต่อชิ้น ในขณะที่กระบวนการอื่นใช้เวลาในกระบวนการ 40 วินาทีต่อชิ้น ดังรูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตของชิ้นงานในกรณีศึกษา เมื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้กระบวนการเชื่อมเป็นกระบวนการคอขวดแสดงได้ดังแผนภาพก้างปลา ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพกังปลาแสดงสาเหตุของปัญหาที่ขั้นตอนการเชื่อมใช้เวลานานกว่ากระบวนการอื่นในการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษา

โดยเมื่อพิจารณาแผนภาพกังปลาดังรูปที่ 3.3 พบว่าสาเหตุของการที่กระบวนการเชื่อมพลาสติกเป็นกระบวนการคอขวดของกระบวนการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ สาเหตุที่เกิดจากคน(พนักงาน) ในที่นี้คือพนักงานที่ทำการเชื่อมชิ้นงาน พบว่าสาเหตุที่เกิดจากการทำงานของพนักงานมีดังนี้

1. พนักงานไม่มีความชำนาญในการเชื่อมพลาสติก เนื่องจากพนักงานบางคนได้รับมอบหมายให้มาทำงานในกระบวนการเชื่อมกะทันหันโดยที่มีการฝึกฝนมาน้อยกว่าพนักงานประจำ เนื่องจากพนักงานประจำลางานหรือป่วย ทำให้พนักงานทดแทนใช้เวลาในการเชื่อมนานกว่าพนักงานประจำ

2. พนักงานใช้เวลาในการเชื่อมแต่ละจุดไม่เท่ากัน เนื่องจากชั้นตอนนี้ไม่มีการควบคุมเวลาที่ใช้ในการเชื่อม โดยมีการควบคุมคุณภาพรอยเชื่อมจากการควบคุมค่าพลังงานที่ใช้ในการเชื่อม ซึ่งเกิดจากแรงกดและเวลาที่หัวเชื่อมทำงาน นั่นคือหากพนักงานใช้แรงกดหัวเชื่อมแรงจะใช้เวลาในการเชื่อมน้อย แต่หากพนักงานกดหัวเชื่อมเบาจะใช้เวลาในการเชื่อมสูง ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเชื่อมจะขึ้นอยู่กับแรงกดหัวเชื่อมของพนักงานแต่ละคนและแต่ละจุด ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าพนักงานคนเดียวกันจะใช้แรงกดหัวเชื่อมทั้ง 15 จุดของชั้นงาน 1 ชั้นไม่เท่ากัน ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการเชื่อมจึงไม่สม่ำเสมอในแต่ละชั้นงาน

3. พนักงานออกแรงกดหัวเชื่อมในแต่ละจุดไม่เท่ากัน เนื่องจากไม่มีมาตรฐานการออกแรงกดหัวเชื่อม ดังนั้นแรงกดที่พนักงานใช้ในการออกแรงกดจึงขึ้นอยู่กับพนักงานแต่ละคน

จากการวิเคราะห์สาเหตุที่เกิดจากคนพบว่าหากมีการควบคุมแรงกดหัวเชื่อมจะสามารถทำให้ควบคุมเวลาที่ใช้ในการเชื่อมได้

สาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักร ในที่นี้คือเครื่องเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิกซึ่งแบบการวิเคราะห์ในส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหัวเชื่อม พบว่าสาเหตุที่เกิดจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหัวเชื่อม ได้แก่ จำนวนเครื่องจักรน้อยกว่าจำนวนที่จำเป็น แต่ด้วยข้อจำกัดในส่วนโรงงานที่ในการทำงานทำให้โรงงานไม่สามารถเพิ่มจำนวนเครื่องเชื่อมพลาสติกได้ ดังนั้นสาเหตุที่เกิดจากเครื่องจักรจึงไม่สามารถแก้ไขได้

สาเหตุที่เกิดจากชั้นงาน

1. ชั้นงานจำนวนจุดเชื่อมมากถึง 15 จุดต่อชั้นงาน เนื่องจากชั้นงานถูกออกแบบจุดเชื่อมไว้เพื่อการยึดติดระหว่างชั้นงานทั้ง 3 ชั้นรวมถึงความแข็งแรงของชั้นงานโดยรวม ซึ่งหากต้องการลดจำนวนจุดเชื่อมจำเป็นต้องทำการทดสอบคุณภาพของชั้นงานซึ่งมีการทดสอบชั้นงานใหม่ทั้งหมด ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทดสอบชั้นงานมีจำนวนมากกว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการทำงานล่วงเวลา ดังนั้นทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาจึงตัดสินใจที่จะไม่ลดจำนวนจุดเชื่อมของชั้นงาน เนื่องจากผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นไม่คุ้มค่ากับการลงทุนและอาจจะมีผลกับการใช้งานของลูกค้าในอนาคต คือชั้นงานหลุดออกจากกันเนื่องจากจุดเชื่อมน้อยลง ดังนั้นสาเหตุที่เกิดจากจำนวนจุดเชื่อมจึงไม่สามารถแก้ไขได้

2. ความหนาของชั้นงานที่ทำให้ใช้เวลาในกระบวนการพลาสติกนาน เนื่องจากการออกแบบความหนาของชั้นงานในปัจจุบันเป็นการออกแบบตามประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ไม่มีหลักการที่แน่ชัดว่าความหนาของชั้นงานที่เหมาะสมสำหรับค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมที่ 60 นิวตันคือ

ความหนาที่เท่าใด จากผลการประชุมกับแผนกที่เกี่ยวข้องพบว่าทุกแผนกที่เกี่ยวข้องมีความเห็นว่า หากความหนาลดลงอาจจะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเชื่อมน้อยลงเนื่องจากพลาสติกอาจจะละลายได้เร็วขึ้น ดังนั้นจึงควรพิสูจน์ว่าค่าความหนาของชิ้นงานนั้นส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงและสามารถลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมได้หรือไม่

สาเหตุที่เกิดจากกระบวนการ

1. ไม่มีการควบคุมเวลาในการเชื่อม (Welding time)
2. ไม่มีการควบคุมแรงกดหัวเชื่อม

จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงานใช้เวลาในการเชื่อมนานสามารถสรุปสาเหตุที่สามารถปรับปรุงและแก้ไขได้แก่เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม และความหนาของจุดเชื่อม

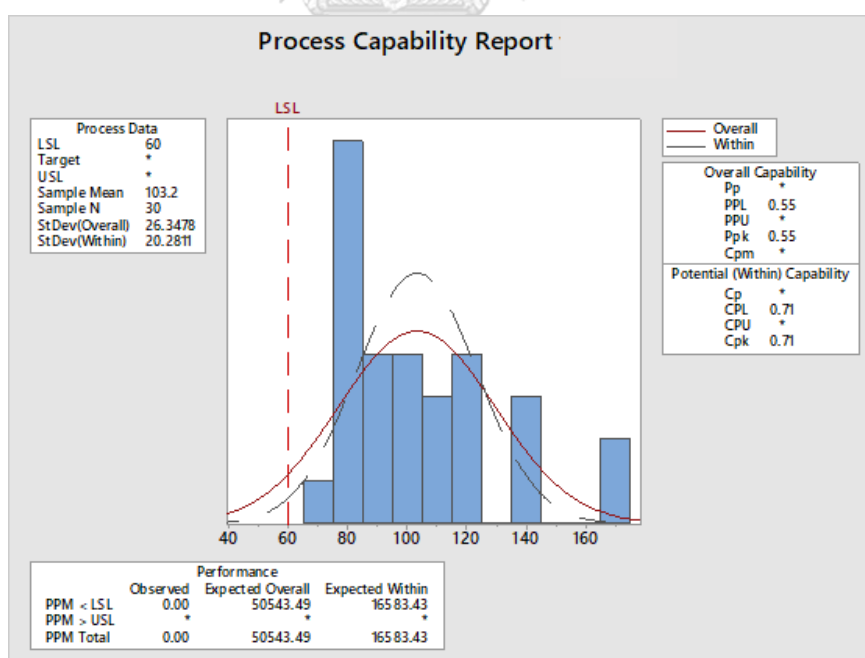
ข้อจำกัดของชิ้นงานในกรณีศึกษาเกี่ยวกับจุดเชื่อมคือความต้านทานแรงดึงต้องไม่น้อยกว่า 60 นิวตันต่อจุด ดังนั้นหากต้องการลดเวลาของขั้นตอนการเชื่อมพลาสติกจะต้องรักษาคุณภาพของค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อม หากลดเพียงเวลาอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น อาจจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าน้อยกว่า 60 นิวตันต่อจุด ดังนั้นจึงทำการหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมเพื่อทำการลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและยังคงค่าความต้านทานแรงดึงให้ไม่น้อยกว่า 60 นิวตันต่อจุด จากข้อจำกัดเกี่ยวกับจุดเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษาดังกล่าวทำให้ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดนี้หากจะทำการลดเวลาในการทำงานของกระบวนการนี้ ซึ่งความต้านทานแรงดึงในปัจจุบันมีค่าดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความต้านทานของดึงต่อชิ้นของชิ้นงานในกรณีศึกษาในปัจจุบัน

จุดที่	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน) ชั้นที่ 1	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน) ชั้นที่ 2
1	90.03	116.57
2	80.96	80.50
3	81.89	75.52
4	120.81	91.39
5	96.55	92.66

ตารางที่ 3.1 ความต้านทานของดิ่งต่อชั้นของชิ้นงานในกรณีศึกษาในปัจจุบัน (ต่อ)

จุดที่	ความต้านทานแรงดิ่ง (นิวตัน) ชั้นที่ 1	ความต้านทานแรงดิ่ง (นิวตัน) ชั้นที่ 2
6	140.81	165.90
7	111.24	114.25
8	97.61	117.67
9	140.69	166.41
10	136.30	106.74
11	73.27	101.26
12	98.44	86.90
13	75.28	120.88
14	76.93	77.07
15	80.91	80.56



รูปที่ 3.4 Process capability ของความต้านทานแรงดิ่งของจุดเชื่อมของชิ้นงานในปัจจุบัน

จากรูปที่ 3.4 แสดง Process capability ของความต้านทานแรงดิ่งของจุดเชื่อมทั้ง 15 จุดของชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 2 ชั้น พบว่าทั้งสองชั้นงานมีค่า Cp และ Cpk มีค่าน้อยกว่า 1.33 แสดง

ถึงระดับความผันแปรของกระบวนการและความสามารถเนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ อีกทั้งความแปรปรวนของข้อมูลทั้งสองพบว่ามีค่าสูงซึ่งสามารถตั้งเป็นสมมติฐานได้ว่าความแปรปรวนนี้เกิดจากการไม่ควบคุมปัจจัยต่างๆของกระบวนการผลิต

3.2 การเลือกปัจจัยการทดลอง

3.2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลกับความแข็งแรงของรอยเชื่อมชิ้นงานพลาสติกแบบอัลตราโซนิก ได้แก่ รูปแบบของพลังงานที่ใช้ในการเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม ความถี่ที่ใช้ในการเชื่อม เป็นต้น ดังนั้นเงื่อนไขดังกล่าวจึงถูกเลือกมาเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแต่ละปัจจัยกับความต้านทานแรงดึงของแบบเชื่อมแบบอัลตราโซนิกกับวัสดุพอลิโพรพิลีนซึ่งมีความสอดคล้องกับการวิเคราะห์จากแผนภูมิแกงปลาตั้งรูปที่ 3.3 อีกปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมของการเชื่อมแบบอัลตราโซนิกคือความถี่ของเครื่องเชื่อม แต่เนื่องจากข้อจำกัดของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาไม่อนุญาตให้ปรับค่าดังกล่าวได้ อีกทั้งความถี่ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นค่าสูงสุดที่เครื่องเชื่อมสามารถทำได้ จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าความถี่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อม ยังมีความสูงความต้านทานแรงดึงที่สูงตาม จึงกำหนดความถี่ของเครื่องเชื่อมจึงเป็นปัจจัยคงที่ (28.5 กิโลเฮิร์ต) สำหรับการทดลองทุกการทดลองในงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของเครื่องเชื่อม

3.2.2 การกำหนดระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

การกำหนดระดับปัจจัยจะพิจารณาจากขีดความสามารถของเครื่องเชื่อมพลาสติกและชิ้นงานในกรณีศึกษาประกอบกับพิจารณาให้อยู่ในช่วงที่ความหนาพลาสติกที่สามารถทำได้ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นระดับต่างๆได้ดังนี้

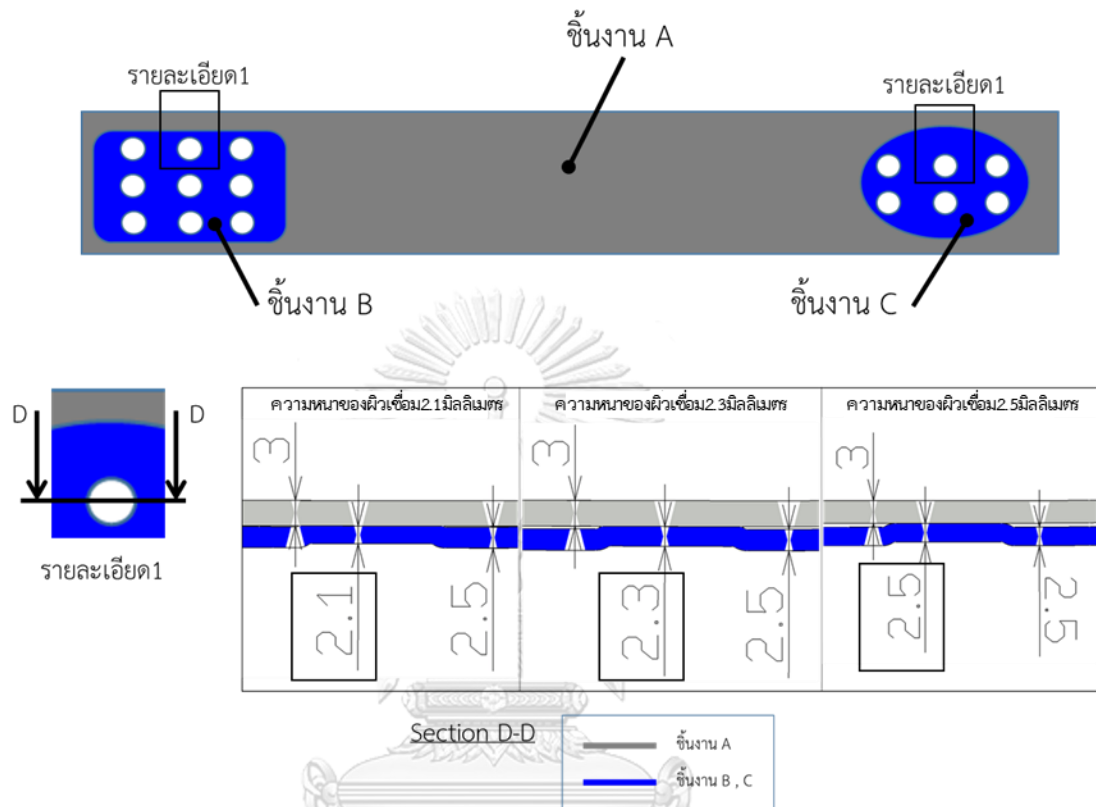
ความหนาของผิวเชื่อม : 2.1 มิลลิเมตร 2.3 มิลลิเมตร 2.5 มิลลิเมตร

เวลาที่ใช้ในการเชื่อม : 3 วินาที 4 วินาที 5 วินาที

แรงกดที่หัวเชื่อม : 10 นิวตัน 20 นิวตัน 30 นิวตัน

ความหนาของผิวเชื่อม ความหนาของชิ้นงานที่ใช้เป็นปัจจัยในการทดลองคือปัจจัยของชิ้นงาน B และ C ที่บริเวณจุดเชื่อม (โดยที่ความหนาส่วนอื่นของชิ้นงาน B และ C ยังคงมีความหนา 2.5 มิลลิเมตรเช่นเดิม) กำหนดเป็น 3 ระดับคือ 2.1 2.3 และ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งความหนา 2.5 มิลลิเมตรเป็นความหนาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานในกรณีศึกษาในปัจจุบัน ซึ่งไม่มีการพิสูจน์ที่

ชัดเจนว่าความหนาของชั้นงานบริเวณรอยเชื่อมนี้ส่งผลกับความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม ซึ่งกำหนดเป็น 3 ปัจจัยนั้นความเป็นไปได้ว่าความสัมพันธ์อาจไม่เป็นเชิงเส้น อีกทั้งความหนา 2.1 มิลลิเมตรเป็นความหนาที่น้อยที่สุดที่สามารถทำชั้นงานเพื่อการทดลองได้



รูปที่ 3.5 ความหนาของผิวเชื่อมทั้ง 3 ระดับที่ใช้ในการทดลอง

เวลาที่ใช้ในการเชื่อม กำหนดเป็น 3 ระดับคือ 3 4 และ 5 วินาที เพื่อศึกษาแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเวลาในการเชื่อมโดยเฉลี่ยในปัจจุบันคือ 5 วินาที ซึ่งต้องการลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมจึงกำหนดระดับปัจจัยที่เท่ากับค่าปัจจุบันและค่าน้อยกว่าที่สามารถทำการทดลองได้ ในที่นี้เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีเป็นเวลาที่น้อยที่สุดที่สามารถทดลองเชื่อมได้ในการทำงานจริงของพนักงาน จึงกำหนดเป็นค่าที่น้อยที่สุดในการกำหนดระดับการทดลอง

แรงกดหัวเชื่อม กำหนดเป็น 3 ระดับคือ 10 15 และ 20 นิวตัน เพื่อศึกษาแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการทดลองให้พนักงานออกแรงกดที่พนักงานใช้ในปัจจุบันพบว่ามีความอยู่ที่ 10 – 20 นิวตัน ดังนั้นจึงนำมาแบ่งเป็น 3 ระดับเพื่อนำมาทำการทดลอง

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ชิ้นงาน A : ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดพลาสติกชนิด PP AP-BP31 ยี่ห้อ Grand siam (ชิ้นงานมีความหนา 3.0 มิลลิเมตร)

3.3.2 ชิ้นงาน B และ C : ขึ้นรูปโดยกระบวนการฉีดพลาสติกชนิด PP AP-BP2 ยี่ห้อ Grand siam (ชิ้นงานมีความหนา 2.5 มิลลิเมตร)

3.3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยี่ห้อ SONOPET D-Series Portable Welders

3.3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง Universal Testing Machine รุ่น NRI-TSS500-20B

3.3.5 หัวเชื่อม M-type Machine Mountable Transducer

3.3.6 แท่นรองชิ้นงานสำหรับเชื่อม



รูปที่ 3.6 แท่นรองชิ้นงานระหว่างทำการเชื่อม

3.3.7 เครื่องตัดพลาสติกแบบอัลตราโซนิค ยี่ห้อ Honda รุ่น USW-331Ti

3.3.8 ลวดเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 มิลลิเมตร

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.4.1 ขึ้นรูปชิ้นงาน A ด้วยพลาสติกชนิด PP AP-BP31 โดยกระบวนการฉีดพลาสติก

3.4.2 ตัดของเสียส่วนเกินของชิ้นงาน A หลังผ่านกระบวนการฉีด เช่น รูปร่างของทางเข้าพลาสติก (Gate) ครีบ เป็นต้น

3.4.3 ขึ้นรูปชิ้นงาน B และ C ด้วยพลาสติกชนิด PP AP-BP2 โดยกระบวนการฉีดพลาสติก

3.4.4 ตัดของเสียส่วนเกินของชิ้นงาน B และ C หลังผ่านกระบวนการฉีด เช่น รูปร่างของทางเข้าพลาสติก (Gate) ครีบ เป็นต้น

3.4.5 นำชิ้นงาน A วางบนแท่นรองชิ้นงานสำหรับเตรียมการเชื่อม

3.4.6 นำชิ้นงาน B ประกอบเข้ากับชิ้นงาน A เพื่อเตรียมการเชื่อม

3.4.7 นำชิ้นงาน C ประกอบเข้ากับชิ้นงาน A เพื่อเตรียมการเชื่อมต่อ

3.4.8 เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเตรียมเชื่อมต่อชิ้นงาน

3.4.9 ทำการเชื่อมต่อชิ้นงาน A และ B เข้าด้วยกันโดยการนำหัวเชื่อมต่อไปกดตรงจุดเชื่อมต่อที่ละจุด

จนครบ 9 จุด

3.4.10 ทำการเชื่อมต่อชิ้นงาน A และ C เข้าด้วยกันโดยการนำหัวเชื่อมต่อไปกดตรงจุดเชื่อมต่อที่ละ

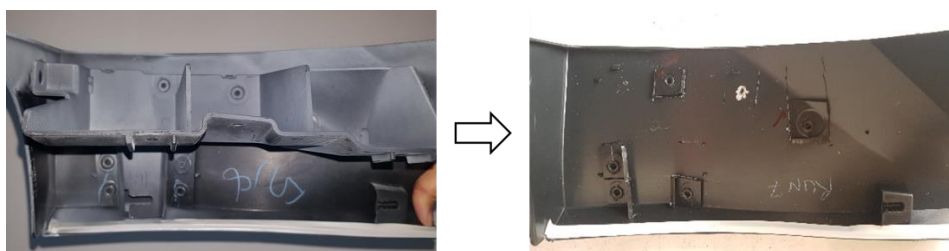
จุดจนครบ 6 จุด



รูปที่ 3.7 กระบวนการเชื่อมต่อชิ้นงานในกรณีศึกษา

3.4.11 นำชิ้นงานที่ทำการเชื่อมกันเสร็จแล้วเข้าสู่กระบวนการพ่นสี

3.4.12 ตัดชิ้นงาน B และ C ให้เหลือเฉพาะบริเวณจุดเชื่อมดังรูปที่ 3.8



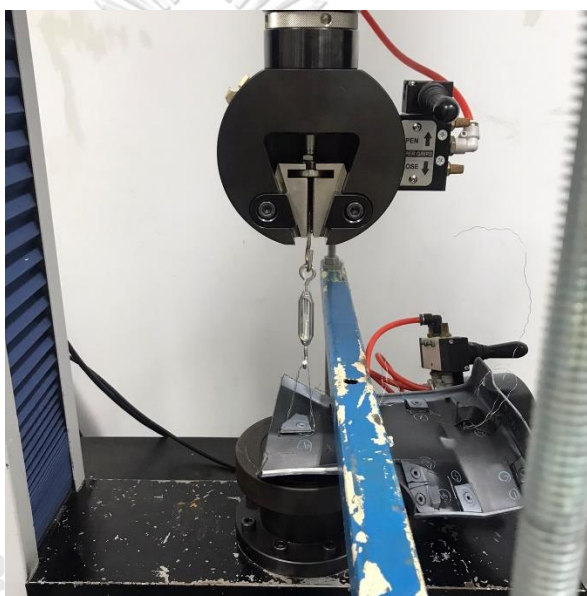
รูปที่ 3.8 การเตรียมชิ้นงานเพื่อทำการทดสอบแรงดึงของจุดเชื่อมต่อ

3.4.13 ใช้ลวดผูกกับชิ้นงานบริเวณจุดเชื่อมต่อ โดยลวดเหล็กชุบสังกะสีมีความยาวจาก

จุดเชื่อมต่อ 100 มิลลิเมตรดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ลักษณะการผูกมัดเข้ากับชิ้นงานเพื่อทำงานทดสอบความต้านทานแรงดึง
3.4.14 ทดสอบความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อม



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการเตรียมการดึงชิ้นงาน

3.5 การออกแบบการทดลอง

สำหรับการออกแบบการทดลอง ประกอบด้วยปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ในแต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยนำการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken มาใช้ในการออกแบบการทดลองเนื่องจากค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์คือค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน ซึ่งได้จากการทดสอบแบบทำลาย ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในส่วนของจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง จึงเลือกการออกแบบการทดลองแบบ Box-behnken เนื่องจากการออกแบบการทดลองที่มีจำนวนการทดลองไม่สูง อีกทั้งผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองนี้มีความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งมี

จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง ในแต่ละการทดลองมีการบันทึกผลค่าการทนต่อแรงดึงของชิ้นงานในกรณีศึกษา

ตารางที่ 3.2 ระดับปัจจัยที่ใช้การทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		
ความหนาของผิวเชื่อม (มิลลิเมตร) : X1	2.1	2.3	2.5
เวลาที่ใช้ในการเชื่อม (วินาที) : X2	3	4	5
แรงกดหัวเชื่อม (นิวตัน) : X3	10	15	20

ตารางที่ 3.3 การออกแบบการทดลอง

Run	ความหนาของผิวเชื่อม (มิลลิเมตร) : X1	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม (วินาที) : X2	แรงกดหัวเชื่อม (นิวตัน) : X3
1	2.1	3	15
2	2.1	5	15
3	2.5	3	15
4	2.5	5	15
5	2.1	4	10
6	2.1	4	20
7	2.5	4	10
8	2.5	4	20
9	2.3	3	10
10	2.3	3	20
11	2.3	5	10
12	2.3	5	20
13	2.3	4	15
14	2.3	4	15
15	2.3	4	15

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองคือความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมของชิ้นงาน

3.6.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยกับความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมของชิ้นงาน

3.6.3 การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการถดถอยพหุคูณ

3.6.4 ทดสอบการกระจายแบบปกติ โดยการสร้าง Normal Probability Plot ของค่าความคลาดเคลื่อน

- 3.6.5 ทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)
- 3.6.6 ทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)
- 3.6.7 วิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม
- 3.6.8 ทำการทดลองเพื่อนำยืนยันผล



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมพลาสติกชนิด PP แบบอัลตราโซนิคนั้นมี 3 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อม หลังจากกำหนดระดับปัจจัยทั้ง 3 และทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken ค่าความต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นจากการทดลองมีผลดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลอง

เนื่องจากชิ้นงานในกรณีศึกษามีจุดเชื่อมทั้งหมด 15 จุดโดยแต่ละจุดนั้นมีส่วนโค้งของผิวเชื่อมที่แตกต่างกัน ดังนั้นในขั้นแรกจึงทำการพิสูจน์ก่อนว่าจุดเชื่อมที่ต่างตำแหน่งกันนั้นมีความสัมพันธ์ต่อความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมหรือไม่ โดยการทดสอบความแปรปรวนความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมแต่ละจุดโดยทำการเชื่อมชิ้นงานทั้ง 15 จุด โดยมีการควบคุมปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบนี้คือใช้ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร ($X_1 = 2.5$) เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที ($X_2 = 3$) และแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน ($X_3 = 15$) ซึ่งได้ผลของความต้านทานแรงดึงของแต่ละจุดดังตารางที่ 4.1

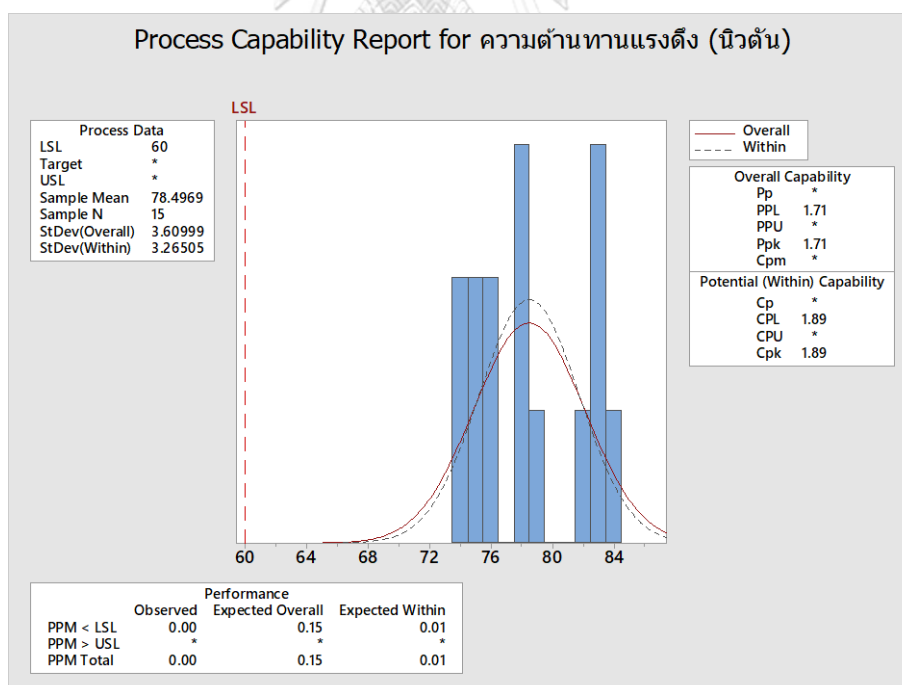
ตารางที่ 4. 1 ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมทั้ง 15 จุดของชิ้นงานในกรณีศึกษาโดยควบคุมปัจจัยในการเชื่อม 3 ปัจจัยได้แก่ $X_1 = 2.5, X_2 = 3$ และ $X_3 = 10$

จุดที่	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน)
1	74.10
2	75.82
3	83.53
4	74.91
5	76.14
6	78.78
7	83.37
8	78.31

ตารางที่ 4.1 ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมทั้ง 15 จุดของชิ้นงานในกรณีศึกษาโดยควบคุมปัจจัยในการเชื่อม 3 ปัจจัยได้แก่ $X_1 = 2.5, X_2 = 3$ และ $X_3 = 10$ (ต่อ)

จุดที่	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน)
9	83.11
10	82.97
11	74.02
12	77.88
13	81.84
14	78.07
15	74.60

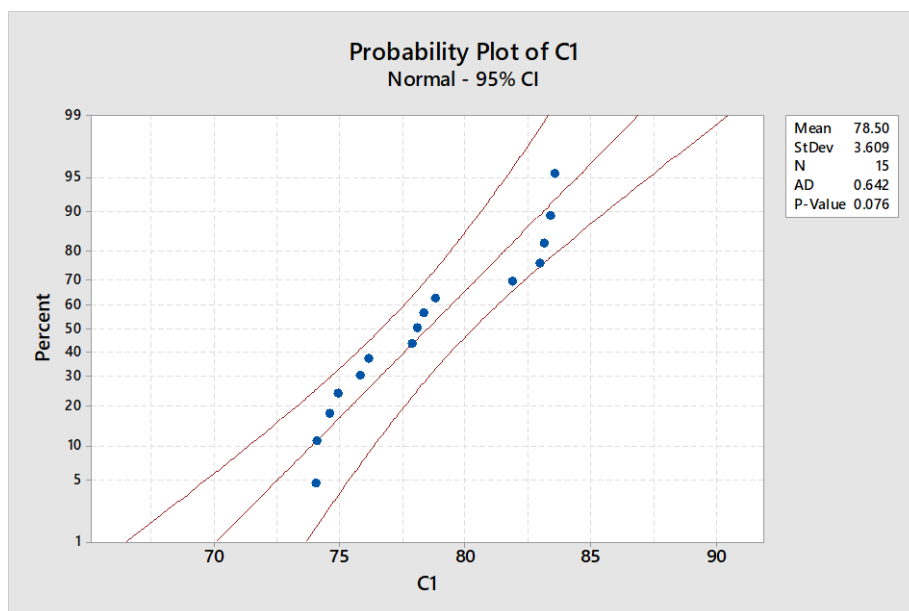
เมื่อนำข้อมูลของตารางที่ 4.1 มาวิเคราะห์ความผันแปรและความแปรปรวนของข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab จะพบผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 1 Process Capability Report ของข้อมูลตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 พบว่าค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่า 1.89 ซึ่งมากกว่า 1.33 และค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาวมีค่า (P_{pk})

1.71 ซึ่งมากกว่า 1.67 จากค่า C_{pk} และ P_{pk} ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าระดับความผันแปรของกระบวนการและความสามารถเนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้



รูปที่ 4. 2 Probability Plot ของข้อมูลตารางที่ 4.1

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลมีค่า 3.602 และค่า P-Value มีค่า 0.076 ซึ่งมีความมากกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติและความแปรปรวนของข้อมูลในค่าที่ยอมรับได้

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าตำแหน่งของจุดเชื่อมบนชิ้นงานในกรณีศึกษาที่แตกต่างกันนั้นไม่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลองโดยไม่นำตำแหน่งของจุดเชื่อมมาวิเคราะห์

จากนั้นจึงทำการทดลองตามการออกแบบการทดลองแบบการทดลองแบบ Box-Behnken บนจุดเชื่อมแต่ละจุด พบว่าได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 ผลการทดลองตามการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken

Run	X1 : ความหนาของ ผิวเชื่อม(มิลลิเมตร)	X2 : เวลาที่ใช้ในการ เชื่อม (วินาที)	X3 : แรงกดหัว เชื่อม (นิวตัน)	ความต้านทานแรง ดึง (นิวตัน)
1	2.1	3	15	80.10
2	2.1	5	15	49.21
3	2.5	3	15	94.08
4	2.5	5	15	63.29
5	2.1	4	10	67.44
6	2.1	4	20	51.29
7	2.5	4	10	72.19
8	2.5	4	20	57.28
9	2.3	3	10	81.60
10	2.3	3	20	73.19
11	2.3	5	10	64.08
12	2.3	5	20	36.76
13	2.3	4	15	84.30
14	2.3	4	15	85.60
15	2.3	4	15	87.10

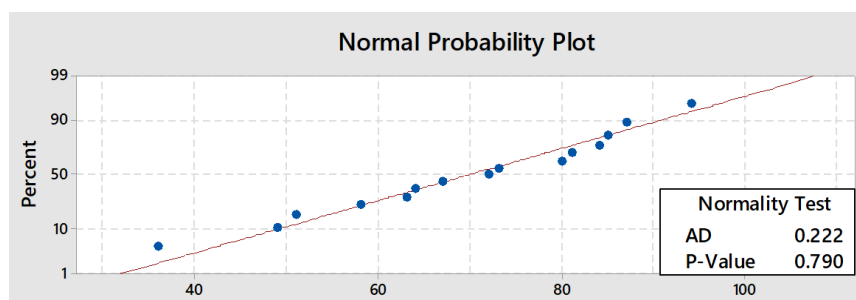
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองทั้ง 15 การทดลองตามการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken แล้วจะได้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมแต่ละจุดดังตารางที่ 4.2 เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของกระบวนการและผลการทดลอง โดยพิจารณาในเรื่องของการกระจายตัวแบบปกติ ความอิสระของข้อมูล และความสม่ำเสมอของความแปรปรวนของข้อมูลโดยพิจารณา ดังนี้

กำหนด H_0 : ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลไม่มีการกระจายตัวแบบปกติ

4.2.1 การทดสอบการกระจายแบบปกติ (Normality Test)

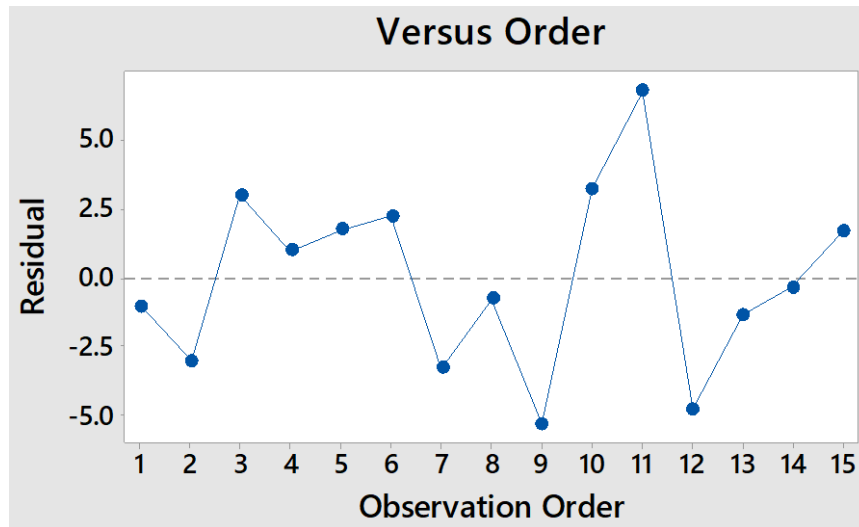


รูปที่ 4. 3 Normal Probability Plot ของข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Test) สามารถดูได้จากแผนภูมิกระจายแบบปกติ (Normal Probability Plot) ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ที่จัดเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง จากรูปแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ และพบว่า P-Value มีค่า 0.79 ซึ่งมีค่ามากกว่า $\alpha=0.05$ เนื่องจากค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ (ยอมรับ H_0) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal distributed) และเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้

4.2.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual) จะสามารถดูได้จากกราฟ Residual Versus Observation Order ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual)

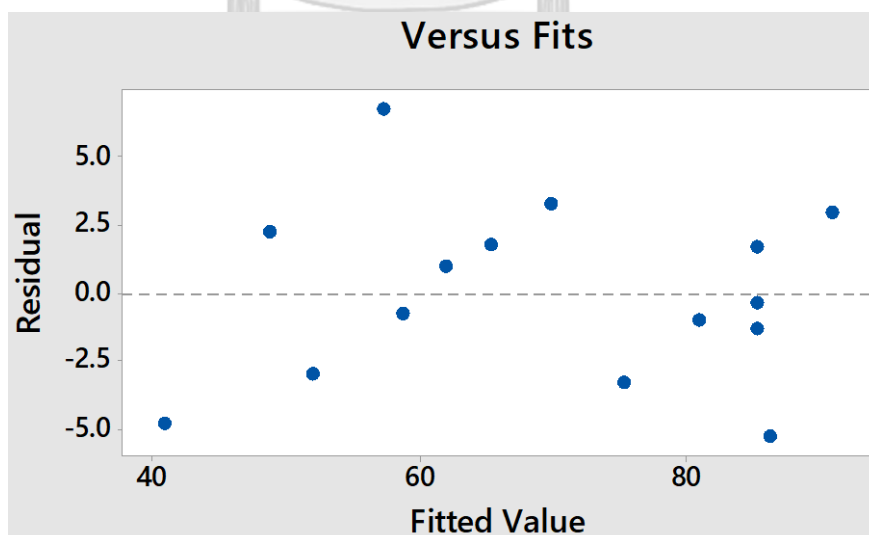


รูปที่ 4. 4 Residual Versus Observation Order ข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2

จากรูปที่ 4.4 พบว่ากราฟ Residual Versus Observation Order มีลักษณะการกระจายตัวแบบแบบอิสระ ไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มหรือรูปร่างที่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

4.2.3 การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability)

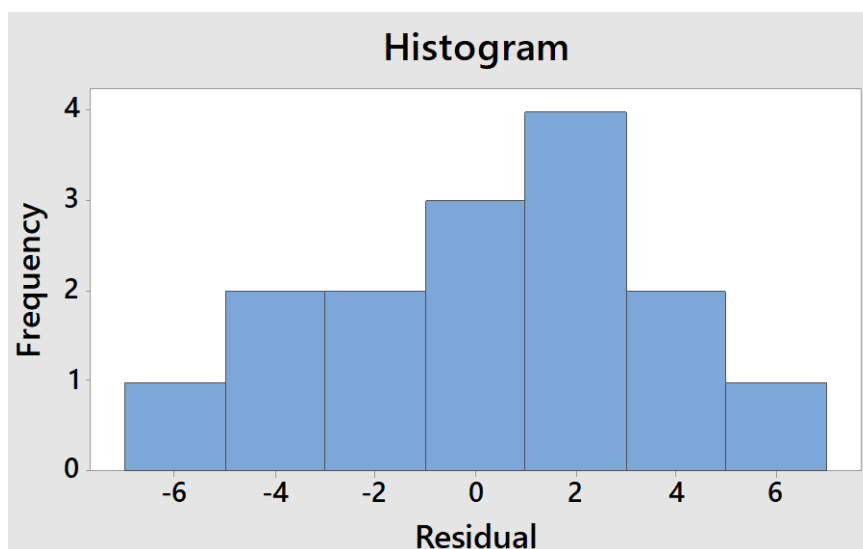
กราฟ Residual Versus Fitted Value ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) รอบแนวแกนศูนย์



รูปที่ 4. 5 Variance Stability ของความแปรปรวนของข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2

จากรูปที่ 4.5 พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้มหรือรูปแบบที่คล้ายกรวยปากเปิดหรือกรวยปากปิด จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนมีค่าคงที่ค่าหนึ่ง

4.2.4 การทดสอบโดย Histogram



รูปที่ 4. 6 Histogram ของข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.2

จากรูปที่ 4.6 พบว่ากราฟHistogramมีเป็นลักษณะเป็นระฆังคว่ำซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

4.3 การทดสอบนัยสำคัญของตัวแปรอิสระ

เมื่อตรวจสอบการกระจายตัวและความแปรปรวนของผลการทดลองแล้ว จากนั้นนำผลการทดลองมาตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตอบสนอง (ค่าความต้านทานแรงดึง) และตัวแปรอิสระ (ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม) จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 สามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้โดยการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4. 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการถดถอยของข้อมูลความต้านทานแรงดึง

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	3655.57	406.17	39.30	0.000
Linear	3	2417.47	805.82	77.96	0.000
X1 : ความหนาของผิวเชื่อม	1	188.28	188.28	18.21	0.008
X2 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	1	1671.58	1671.58	161.72	0.000
X3 : แรงกดหัวเชื่อม	1	557.61	557.61	53.95	0.001
Square	3	1148.32	382.77	37.03	0.001
X1*X1 : ความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อม	1	232.09	232.09	22.45	0.005
X2*X2 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	1	136.08	136.08	13.17	0.015
X3*X3 : แรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	1	908.76	908.76	87.92	0.000
2-Way Interaction	3	89.78	29.93	2.90	0.141
X1*X2 : ความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	1	0.00	0.00	0.00	0.087
X1*X3 : ความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	1	0.38	0.38	0.04	0.855
X2*X3 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	1	89.40	89.40	8.65	0.032
Error	5	51.68	10.34		
Lack-of-Fit	3	47.76	15.92	8.11	0.112
Pure Error	2	3.93	1.96		
Total	14	3707.26			
S = 3.21504 R-sq = 98.61% R-sq(adj) = 96.10% R-sq(pred) = 79.15%					

เมื่อตัวแปรตอบสนองคือค่าความต้านทานแรงดึงกำหนดให้ยอมรับความผิดพลาดที่ 5% ($\alpha = 0.05$) มีสมมติฐานดังนี้

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$$

$$H_1: \beta_j \text{ อย่างน้อย 1 ตัว } \neq 0$$

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า P-Value ของความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม ความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่าน้อยกว่า

α ซึ่งกำหนดให้ยอมรับความผิดพลาดที่ 5% ($\alpha = 0.05$) ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก และพบว่าค่า P-Value ของความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมและความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม มีค่า 1.000 และ 0.763 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า α ซึ่งกำหนดให้ยอมรับความผิดพลาดที่ 5% ($\alpha = 0.05$) ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก สามารถวิเคราะห์ได้ว่า Interaction ของความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม และความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม นั้น ไม่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (Main Effect) และอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย (Interaction Effect) ได้ผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก (Main Effect)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า F-Critical ของปัจจัยหลักแต่ละปัจจัยมีดังนี้

1. F-Critical ของความหนาของผิวเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
2. F-Critical ของเวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
3. F-Critical ของแรงกดหัวเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)

เมื่อเปรียบเทียบค่า F-Value และ F-Critical สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. F-Value ของความหนาของผิวเชื่อมมีค่า 18.21 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือความหนาของผิวเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
2. F-Value ของเวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่า 161.72 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือเวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
3. F-Value ของแรงกดหัวเชื่อมมีค่า 53.95 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือแรงกดหัวเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

การทดสอบสมมติฐานอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย (Interaction Effect)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่า F-Critical ของอันตรกิริยาแต่ละปัจจัยมีดังนี้

1. F-Critical ของความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
2. F-Critical ของเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
3. F-Critical ของแรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
4. F-Critical ของความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
5. F-Critical ของความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)
6. F-Critical ของเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่า 6.61 (f 0.05,1,5)

เมื่อเปรียบเทียบค่า F-Value และ F-Critical สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. F-Value ของความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อมมีค่า 22.45 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
2. F-Value ของเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่า 13.17 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
3. F-Value ของแรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่า 87.92 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือแรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
4. F-Value ของความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมมีค่า 0.00 มีค่าน้อยกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value < F-Critical) นั่นคือความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อมไม่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$
5. F-Value ของความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่า 0.04 มีค่าน้อยกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value < F-Critical) นั่นคือความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมไม่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

6. F-Value ของเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีค่า 8.65 มีค่ามากกว่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 (F-Value > F-Critical) นั่นคือเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อมมีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ในการวิเคราะห์ขั้นต่อไปคือการตัด Interaction Effect ที่ไม่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงออก (ความหนาของผิวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม และ ความหนาของผิวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม) โดยใช้วิธีการตัดออกแบบ Stepwise ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4. 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการถดถอยของข้อมูลความต้านทานแรงดึงด้วยวิธี Stepwise

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	3665.19	522.17	70.20	0.000
Linear	3	2417.47	805.82	108.33	0.000
X1 : ความหนาของผิวเชื่อม	1	188.28	188.28	25.31	0.002
X2 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	1	1671.58	1671.58	224.72	0.000
X3 : แรงกดหัวเชื่อม	1	557.61	557.61	74.96	0.000
Square	3	1148.32	382.77	51.46	0.000
X1*X1 : ความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อม	1	232.09	232.09	31.20	0.001
X2*X2 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	1	136.08	136.08	18.29	0.004
X3*X3 : แรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	1	908.76	908.76	122.17	0.000
2-Way Interaction	1	89.40	89.40	12.02	0.010
X2*X3 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	1	89.40	89.40	12.02	0.010
Error	7	52.07	7.44		
Lack-of-Fit	5	48.14	9.63	4.90	0.018
Pure Error	2	3.93	1.96		
Total	14	3707.26			
S = 2.72737 R-sq = 98.60% R-sq(adj) = 97.19% R-sq(pred) = 92.91%					

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า P-Value ของความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม ความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม และเวลาที่ใช้

ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม มีค่าน้อยกว่า α ซึ่งกำหนดให้ยอมรับความผิดพลาดที่ 5% ($\alpha = 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบค่า F-Value ของปัจจัยหลัก (Main Effect) อันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย (Interaction) กับค่า F-Critical ซึ่งมีค่า 6.61 พบว่า F-Value มีค่ามากกว่า F-Critical ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลักและสามารถสรุปได้ว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวแปรที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

4.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัว

เป็นการทดสอบตัวแปรอิสระแต่ละตัวว่ามีความสามารถในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงหรือการเคลื่อนไหวของค่าความต้านทานแรงดึงได้หรือไม่

เมื่อตัวแปรตอบสนองคือค่าความต้านทานแรงดึง กำหนดสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

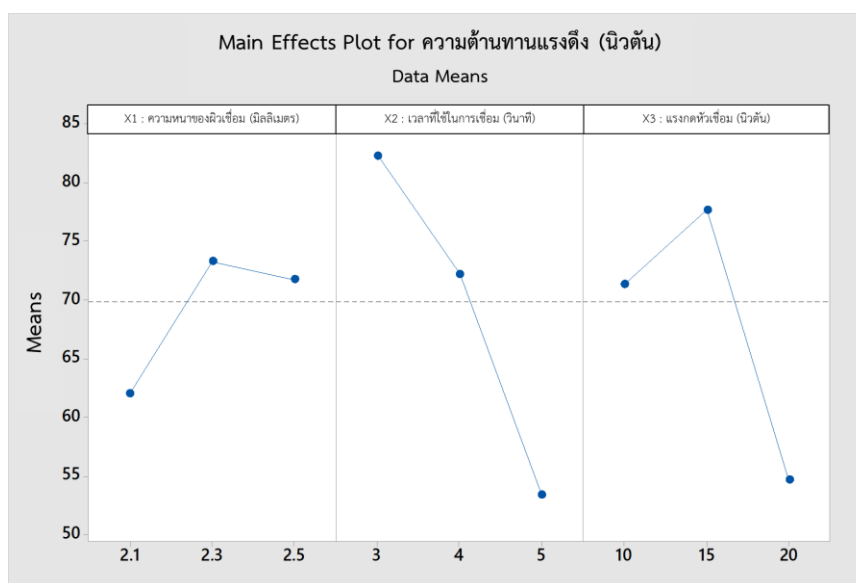
ตารางที่ 4. 5 การทดสอบสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัวสำหรับความต้านทานแรงดึง

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	85.670	1.570	54.400	0.000	
X1 : ความหนาของผิวเชื่อม	4.851	0.964	5.030	0.002	1.000
X2 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	-14.455	0.964	-14.990	0.000	1.000
X3 : แรงกดหัวเชื่อม	-8.349	0.964	-8.660	0.000	1.000
X1*X1 : ความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อม	-7.930	1.420	-5.590	0.001	1.010
X2*X2 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม	-6.070	1.420	-4.280	0.004	1.010
X3*X3 : แรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	-15.690	1.420	-11.050	0.000	1.010
X2*X3 : เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม	-4.730	1.360	-3.470	0.010	1.000

จากตารางที่ 4.5 พบว่าตัวแปรที่มีความสามารถในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงได้แก่ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม ความหนาของผิวเชื่อม*ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม แรงกดหัวเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม*แรงกดหัวเชื่อม โดยมีค่า P-Value น้อยกว่า α ซึ่งกำหนดให้ยอมรับความผิดพลาดที่ 5% ด้วยเหตุนี้จึงปฏิเสธ

สมมติฐานหลัก (H_0) และสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรดังกล่าวสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมได้อย่างมีนัยสำคัญ

จากการวิเคราะห์ข้างต้นพบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษาอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม และแรงกดหัวเชื่อม จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองสามารถแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4. 7 Main Effect Plot ของอิทธิพลจากปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึง

เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงของของจุดเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษาจากรูปที่ 4.7 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ความหนาของผิวเชื่อม : กราฟมีลักษณะชันขึ้นในช่วงแรกและมีลักษณะชันลงในช่วงหลัง คือเมื่อความหนาของผิวเชื่อมสูงขึ้นจาก 2.1 มิลลิเมตรไปถึง 2.3 มิลลิเมตรส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อความหนาผิวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 2.3 มิลลิเมตรไปถึง 2.5 มิลลิเมตรส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าที่ความหนา 2.1 มิลลิเมตรนั้นเมื่อทำการเชื่อมแบบอัลตราโซนิคแล้วทำให้พลาสติกละลายจนเหลือส่วนยึดติดระหว่างชิ้นงานน้อยเนื่องจากความหนาที่น้อยพลาสติกจึงละลายไปจนหมดจนเหลือส่วนที่ละลายยึดติดกันเพียงนิดเดียว ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมมีค่าน้อย เมื่อเพิ่มความหนาของผิวเชื่อมจาก 2.1 มิลลิเมตรเป็น 2.3 มิลลิเมตร ส่งผลให้การละลายของพลาสติกยังคงเหลือส่วนยึด

ติดอยู่กล่าวคือพลาสติกไม่ถูกละลายจนหมด ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมมีค่าสูงกว่า ความหนาของผิวเชื่อม 2.1 มิลลิเมตร แต่เมื่อเพิ่มความหนาของผิวเชื่อมไปที่ 2.5 มิลลิเมตร ด้วย ความหนาที่หนาขึ้นนี้ส่งผลให้การละลายของพลาสติกเกิดขึ้นช้าลงเนื่องจากต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนมากขึ้น ดังนั้นที่เวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อมเท่ากัน ค่าความต้านทานแรงดึงที่ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรจึงมีค่าน้อยกว่าความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตรแต่ มากกว่า 2.1 มิลลิเมตร จึงสรุปได้ว่าปัจจัยความหนาผิวเชื่อมส่งผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึง อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.8 รอยเชื่อมของความหนาของผิวเชื่อม 3 ระดับที่เวลาที่ใช้ในการเชื่อม (3 วินาที) และแรงกดหัวเชื่อม (20 นิวตัน) ระดับเดียวกัน

2. เวลาที่ใช้ในการเชื่อม : กราฟมีลักษณะชันลงสามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมจาก 5 วินาทีไปยัง 3 วินาทีจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อใช้เวลาในการเชื่อมสูงขึ้นจะทำให้พลาสติกเกิดการละลายที่มากเกินไปทำให้การยึดติดระหว่างชิ้นงานทำได้ไม่ดี คือพลาสติกของชิ้นงานส่วนที่สัมผัสกับหัวเชื่อมละลายไปเยอะมากจนเหลือส่วนยึดติดกับชิ้นงานอีกชิ้นน้อยมาก ส่งผลให้ความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการเชื่อม จึงสรุปได้ว่าปัจจัยเวลาที่ใช้ในการเชื่อมส่งผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

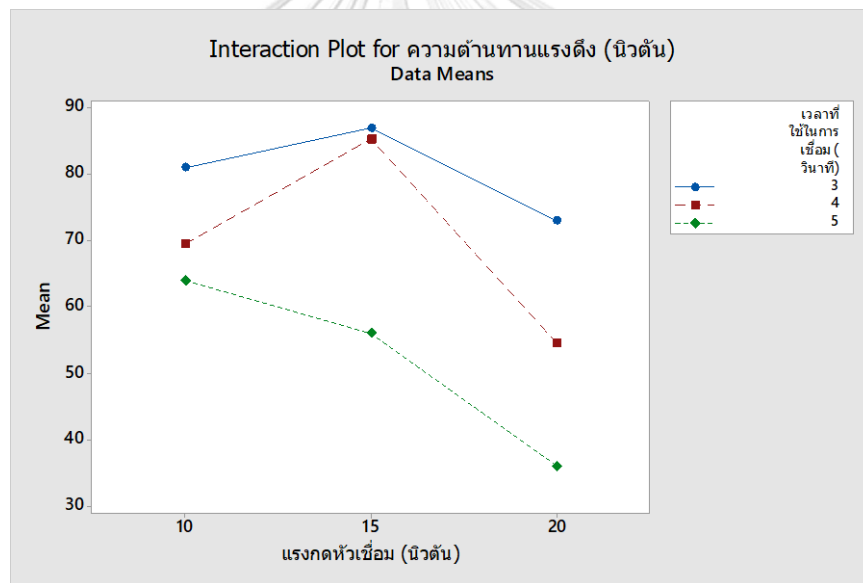


รูปที่ 4.9 รอยเชื่อมของเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 ระดับที่ความหนาของผิวเชื่อม (2.5 มิลลิเมตร) และแรงกดหัวเชื่อม (20 นิวตัน) ระดับเดียวกัน

3. แรงกดหัวเชื่อม : กราฟมีลักษณะชันขึ้นในช่วงแรกและมีลักษณะชันลงในช่วงหลัง สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปยัง 15 นิวตันนั้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปยัง 20 นิวตันนั้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าลดลง สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปยัง 15 นิวตันส่งผลให้พลาสติกด้านที่สัมผัสกับหัวเชื่อมเกิดการละลายที่ดีขึ้น ทำให้พลาสติกละลายไปยึดติดกับชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่งได้ดีขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานมีค่าสูงขึ้น ในขณะที่เมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปยัง 20 นิวตันส่งผลให้พลาสติกด้านที่สัมผัสกับหัวเชื่อมเกิดการละลายมากเกินไปทำให้การยึดติดระหว่างชิ้นงานทำได้ไม่ดี คือพลาสติกของชิ้นงานส่วนที่สัมผัสกับหัวเชื่อมละลายไปเยอะมากจนเหลือส่วนยึดติดกับชิ้นงานอีกชิ้นน้อยมาก ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปยัง 20 นิวตัน จึงสรุปได้ว่าปัจจัยแรงกดหัวเชื่อมส่งผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.10 รอยเชื่อมของแรงกดหัวเชื่อม 3 ระดับที่ความหนาของผิวเชื่อม (2.5 มิลลิเมตร) และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม (5 วินาที) ระดับเดียวกัน

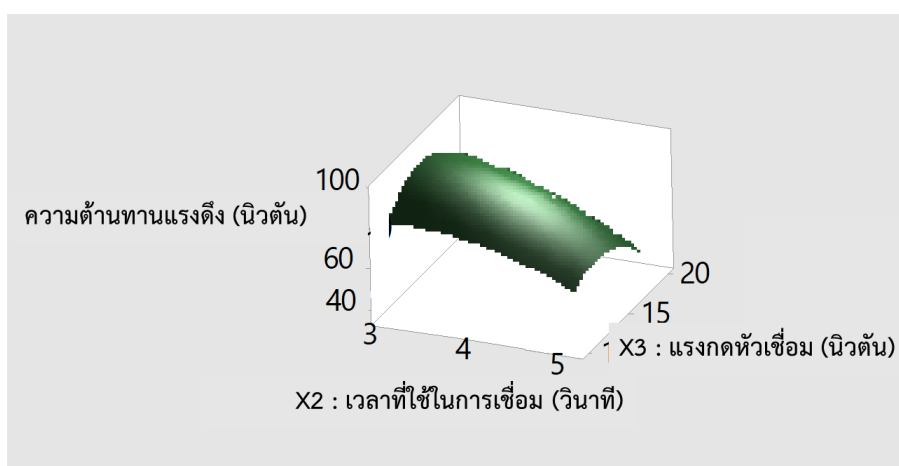


รูปที่ 4.11 Interaction Plot ของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัยคือแรงกดหัวเชื่อมและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม

เมื่อพิจารณาปัจจัยอันตรกิริยา (Interaction Effect) ที่ส่งผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงของของจุดเชื่อมของชิ้นงานในกรณีศึกษาจากรูปที่ 4.11 สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ที่แรงกดหัวเชื่อมใดๆระดับเดียวกัน เมื่อเพิ่มเวลาในการเชื่อมให้สูงขึ้นจาก 3 วินาทีไป ถึง 5 วินาทีจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มามีค่าลดลง

2. ที่เวลาในการเชื่อม 3 และ 4 วินาที เมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปถึง 15 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปถึง 20 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่าลดลง ที่เวลาในการเชื่อม 5 วินาที เมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปถึง 20 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่าลดลง



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อม

จากรูปที่ 4.12 สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อมที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงได้ดังนี้

1. ที่เวลาในการเชื่อมใดๆ เมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปถึง 15 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มแรงกดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปถึง 20 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่า
2. ที่แรงกดหัวเชื่อมใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการเชื่อมให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลง

จากการวิเคราะห์รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 สามารถสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อมที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ

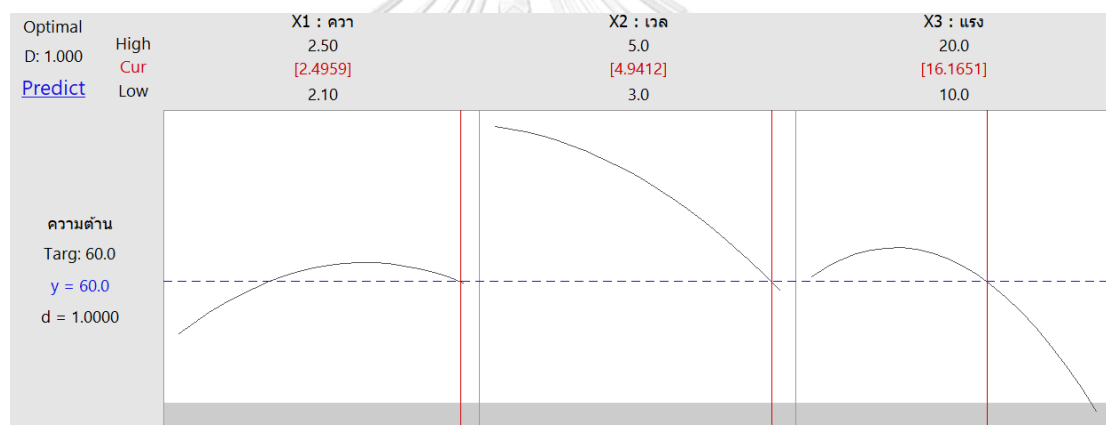
4.5 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์และอิทธิพลของปัจจัยและค่าความต้านทานแรงดึงสามารถตรวจสอบได้โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ซึ่งเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ยกกำลังสอง ซึ่งใช้ตัวย่อคือ R^2 จากการวิเคราะห์การถดถอยจากตารางที่ 4.4 พบว่า $R^2 = 98.60$ ซึ่งหมายความว่าตัวแปรอิสระนั้นมี

อิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึง 98.60% และมีอิทธิพลจากปัจจัยอื่นอยู่อีกที่ไม่ได้นำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ 1.40% ที่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานในกรณีศึกษา

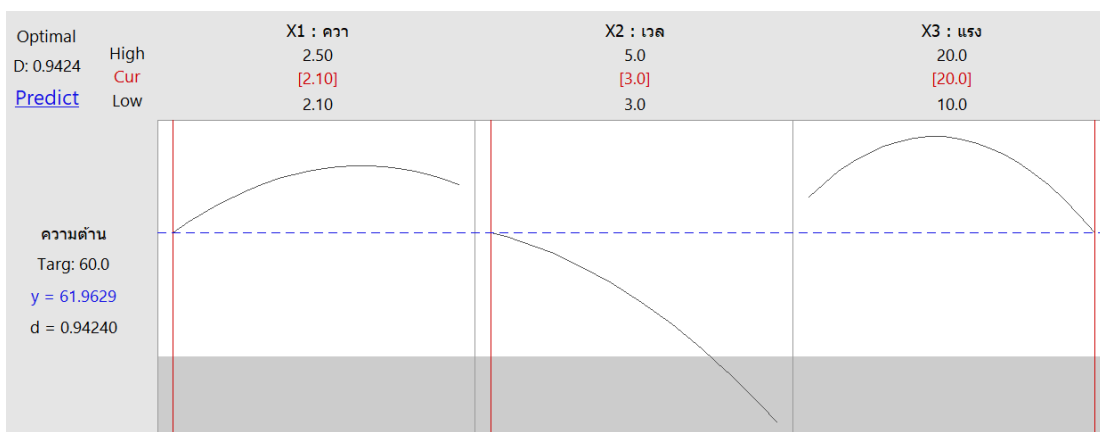
4.6 การทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม (Response Optimizer)

หลังจากวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความต้านทานแรงดึงแล้ว จากนั้นทำการหาสภาวะการตั้งค่าการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมโดยใช้โปรแกรม Minitab ในการคำนวณว่าควรตั้งค่าปัจจัยในการเชื่อมอย่างไรจึงจะได้ผลลัพธ์ที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการลดเวลาการทำงานของกระบวนการเชื่อมพลาสติกชิ้นงานในกรณีศึกษา จะได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่มากกว่า 60 นิวตันได้แก่ ความหนาของผิวเชื่อม 2.4959 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4.9412 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 16.1651 นิวตัน ซึ่งจะได้อ่าความต้านทานแรงดึงที่ 60 นิวตันดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการลดเวลาการทำงานของกระบวนการเชื่อมพลาสติกชิ้นงานในกรณีศึกษา ดังนั้นจึงทำการตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการเชื่อมเป็น 3 วินาทีในการหาสภาวะที่เหมาะสมเนื่องจากเป็นเวลาน้อยที่สุดในระดับปัจจัย เป็นการลดเวลาการทำงานของกระบวนการเชื่อมพลาสติกได้ 2 วินาที (จาก 5 วินาทีเป็น 3 วินาที) เมื่อหาระดับปัจจัยของความหนาของผิวเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีด้วยโปรแกรม Minitab จะได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่มากกว่า 60 นิวตันคือความหนาของผิวเชื่อม 2.1 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน ซึ่งจะได้อ่าความต้านทานแรงดึงที่ 61.6929 นิวตันดังรูปที่ 4.14



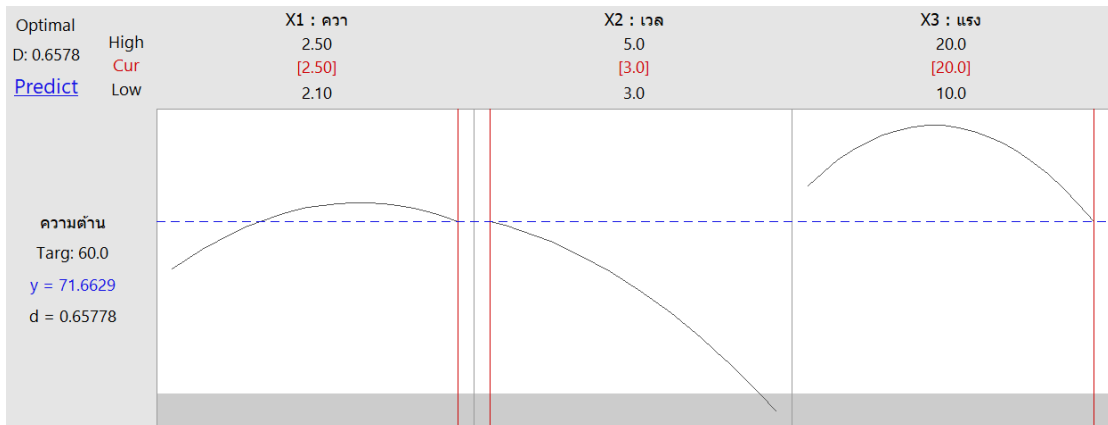
รูปที่ 4.14 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมเมื่อกำหนด

เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที

จากรูปที่ 4.14 พบว่าระดับปัจจัยความหนาของผิวเชื่อมที่เหมาะสมคือ 2.1 มิลลิเมตรและแรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน หากนำระดับปัจจัยความหนาของผิวเชื่อมนี้ไปใช้ในการใช้งานจริงทางโรงงานจะต้องทำการแก้ไขแม่พิมพ์ของชิ้นงานเพื่อลดความหนาของผิวเชื่อมจากจากปัจจุบัน 2.5 มิลลิเมตรให้เหลือ 2.1 มิลลิเมตร อีกทั้งยังต้องทำการทดสอบคุณภาพของชิ้นงานด้วยการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบของชิ้นงานใหม่ทั้งหมด นั่นคือทางโรงงานจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของ การแก้ไขแม่พิมพ์และทดสอบชิ้นงาน ดังนั้นจึงทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมใหม่ในกรณีที่มีความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีเนื่องจากเหตุผลดังนี้

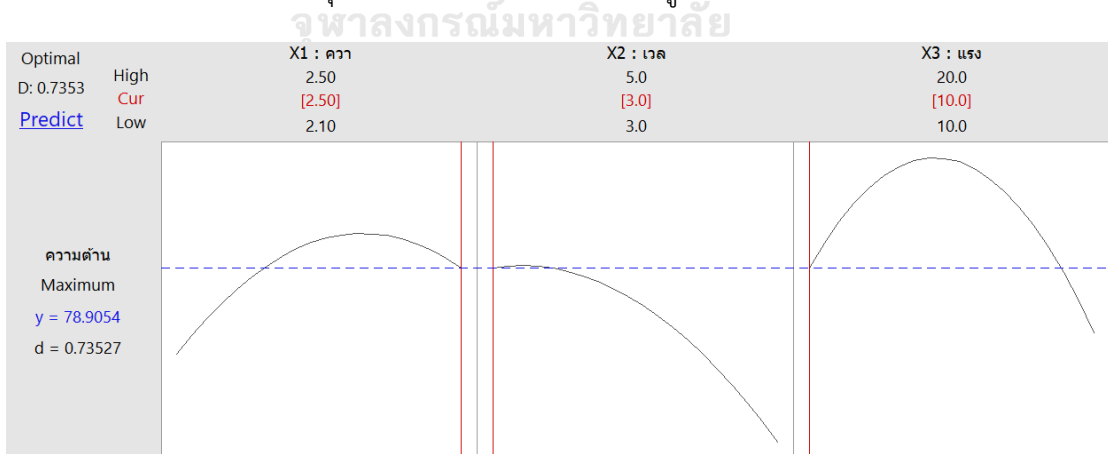
1. ลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมให้อยู่ในระดับที่น้อยที่สุดที่สามารถทำได้
2. ทางโรงงานไม่ต้องการมีค่าใช้จ่ายในส่วนของ การแก้ไขความหนาของชิ้นงาน

เมื่อเมื่อหาระดับปัจจัยของแรงกดหัวเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรด้วยโปรแกรม Minitab จะได้ว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่มากกว่า 60 นิวตันคือแรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่ 76.6629 นิวตันดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การวิเคราะห์ระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมเมื่อกำหนดความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที

จากรูปที่ 4.15 พบว่าความความต้านทานแรงดึงมีค่าที่สูงกว่า 60 นิวตันอยู่ 10 นิวตันซึ่งเป็นไปตามค่าที่ทางโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ปัจจัยการทดลองพบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าแปรผกผันกับระดับปัจจัยของแรงกดหัวเชื่อมกล่าวคือเมื่อลดแรงกดหัวเชื่อมจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น นั่นคือการลดแรงกดหัวเชื่อมจะส่งผลดีในส่วนของค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงขึ้นและใช้พลังงานในการเชื่อมน้อยลง ดังนั้นจึงทำการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงที่ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรและเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีกับแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน (เนื่องจากเป็นระดับปัจจัยที่น้อยที่สุดและมีการใช้พลังงานที่น้อยที่สุด) ด้วยโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ค่าความต้านทานแรงดึงเมื่อกำหนดความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน

จากรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อกำหนดความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตันจะได้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อม 78.9054 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบรูปที่ 4.15 และ 4.16 พบว่าที่ระดับปัจจัยความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร และเวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที ที่แรงกดหัวเชื่อม 10 ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่ามากกว่า 60 นิวตันต่อจุด ดังนั้นจึงเลือกระดับปัจจัยแรงกดหัวเชื่อมที่ส่งผลต่อต้นทุนน้อยที่สุดนั่นคือแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้ได้แก่ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน

4.7 การทำการทดลองเพื่อยืนยันผล

หลังจากได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการลดเวลาในการทำงานและลักษณะของชิ้นงานในปัจจุบัน นำค่าดังกล่าวคือความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร ($X_1 = 2.5$) เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที ($X_2 = 3$) และแรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน ($X_3 = 10$) ไปใช้ในการเชื่อมชิ้นงานจำนวน 3 ชิ้น จะได้ค่าความต้านทานแรงดึงที่มีค่าดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองจากการเชื่อมพลาสติกโดยควบคุมปัจจัยความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที และแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน จำนวน 3 ชิ้นงาน

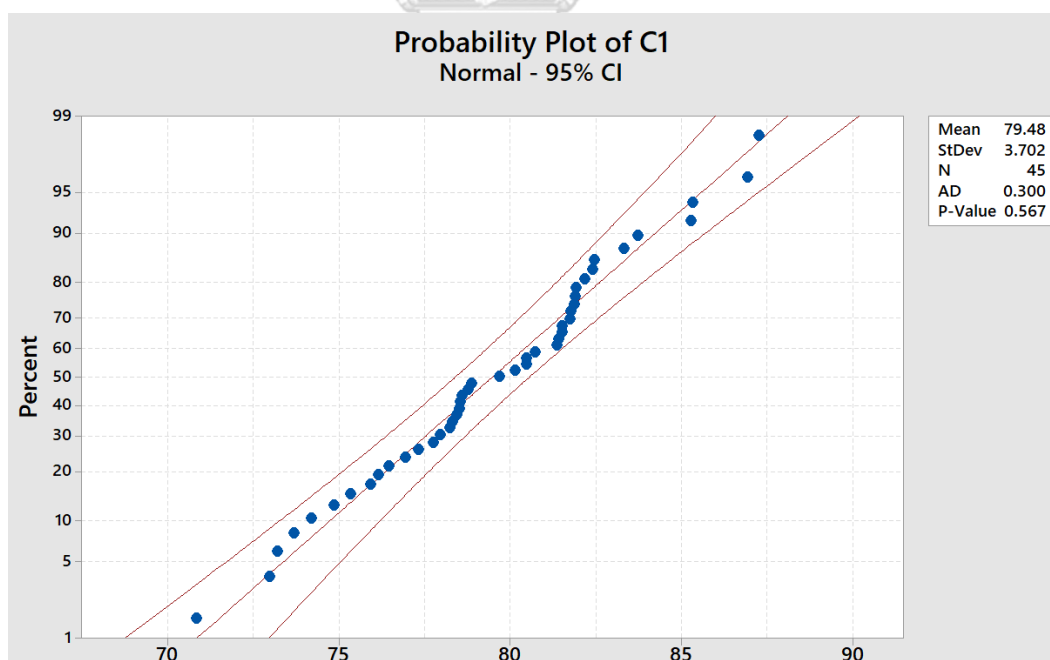
N1	N2	N3
73.18	81.92	86.91
80.71	73.67	72.95
76.13	80.45	77.31
78.42	78.21	75.32
83.32	81.39	78.85
81.88	82.17	78.57
81.34	81.51	80.13
70.83	78.30	78.51
81.86	74.85	77.94
87.26	77.73	79.67
75.92	83.71	82.45

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองจากการเชื่อมพลาสติกโดยควบคุมปัจจัยความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที และแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน จำนวน 3 ซ้ำงาน(ต่อ)

N1	N2	N3
78.52	82.39	78.76
81.74	80.47	81.76
85.33	81.50	76.45
74.17	85.28	76.93

เมื่อนำข้อมูลจากตารางที่ 4.6 มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab สามารถวิเคราะห์ผลได้ ดังนี้

1. จากรูปที่ 4.17 พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) มีการเรียงตัวอยู่ตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มีค่า 0.567 ซึ่งมีความมากกว่า 0.05 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

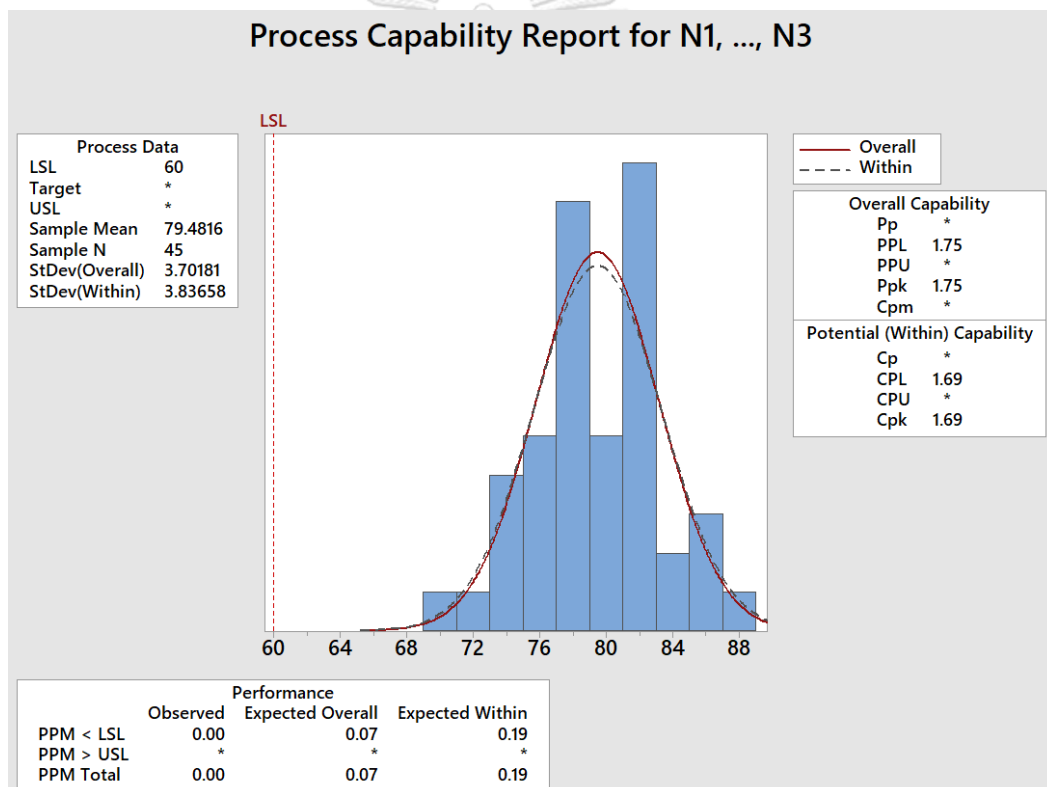


รูปที่ 4.17 Probability Plot ของข้อมูลค่าความต้านทานแรงดึง

2. จากรูปที่ 4.18 สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

2.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีค่ามากกว่า 60 นิวตันต่อจุด

2.2 ค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่า 1.69 ซึ่งมากกว่า 1.33 และค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (P_{pk}) มีค่า 1.75 ซึ่งมากกว่า 1.67 แสดงให้เห็นว่าระดับความผันแปรของกระบวนการและความสามารถเนื่องจากกระบวนการมีค่าเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายมีค่าน้อยในระดับที่ยอมรับได้ อีกทั้งความแปรปรวนของข้อมูลชุดนี้มีค่า 3.7 ซึ่งเป็นค่าที่มีความเชื่อถือได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 4.18 Capability Report ของข้อมูลค่าความต้านทานแรงดึงจากตารางที่ 4.6

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงของการเชื่อมพลาสติกพอลิโพรพิลีน(PP)แบบอัลตราโซนิค เพื่อลดเวลาการทำงานของกระบวนการเชื่อมพลาสติกของชิ้นงานในกรณีศึกษาโดยที่ยังสามารถรักษาความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมให้มีค่ามากกว่า 60 นิวตันต่อจุด จากการศึกษาค้นคว้าที่เกี่ยวข้องพบว่า ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม และแรงกดหัวเชื่อมมีความสัมพันธ์ต่อค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมแบบอัลตราโซนิคของชิ้นงานในกรณีศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในปัจจุบัน (ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตรเนื่องจากไม่ต้องการแก้ไขแม่พิมพ์และทดสอบคุณภาพชิ้นงานใหม่) พบว่าเวลาที่น้อยที่สุดที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมพลาสติกนี้คือ 3 วินาที ที่ปัจจัยความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาทีและแรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตันเมื่อนำไปหาค่าความต้านทานแรงดึงด้วยโปรแกรม Minitab พบว่ามีค่าความต้านทานแรงดึง 78.9054 นิวตัน และเมื่อนำค่าที่ได้มาทำการทดลองพบว่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่ามากกว่า 60 นิวตันทุกจุด ซึ่งเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษากำหนดไว้ เมื่อโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษานำระดับปัจจัยข้างต้นไปใช้กับงานผลิตจริงทำให้โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาสามารถลดเวลาในกระบวนการเชื่อมได้ 2 วินาทีต่อจุดหรือลดได้ 30 วินาทีต่อชิ้นงาน จากเดิมในปัจจุบันสามารถผลิตชิ้นงานได้โดยเฉลี่ย 263 ชิ้นต่อวัน จากงานวิจัยนี้พบว่าโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาผลิตชิ้นงานได้ 304 ชิ้นต่อวัน นั่นคือสามารถผลิตชิ้นงานได้มากขึ้น 41 ชิ้นต่อวันหรือ 820 ชิ้นต่อเดือน

ความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกับคุณสมบัติของความต้านทานแรงดึงที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่างๆ จากงานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องความสัมพันธ์ความต้านทานแรงดึงได้แก่ความหนาของผิวเชื่อม เวลาที่ใช้ในการเชื่อม และแรงกดหัวเชื่อม ซึ่งปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานแรงดึงได้อย่างมีนัยสำคัญดังนี้

1. ความหนาของผิวเชื่อม เมื่อความหนาของผิวเชื่อมสูงขึ้นจาก 2.1 มิลลิเมตรไปถึง 2.3 มิลลิเมตรส่งผลให้ค่าความต้านแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อความหนาผิวเชื่อมเพิ่มขึ้นจาก 2.3 มิลลิเมตรไปถึง 2.5 มิลลิเมตรส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าลดลง
2. เวลาที่ใช้ในการเชื่อม เมื่อลดเวลาที่ใช้ในการเชื่อมจาก 5 วินาทีไปยัง 3 วินาทีจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าสูงขึ้น สามารถสรุปได้ว่าเวลาที่ได้ในการเชื่อมส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงในทิศทางลดลง
3. แรกกัดหัวเชื่อม เมื่อเพิ่มแรกกัดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปยัง 15 นิวตันนั้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มแรกกัดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปยัง 20 นิวตันนั้นส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมีค่าลดลง
4. แรกกัดหัวเชื่อม*เวลาที่ใช้ในการเชื่อม
 - 4.1 ที่เวลาในการเชื่อมใดๆ เมื่อเพิ่มแรกกัดหัวเชื่อมจาก 10 นิวตันไปถึง 15 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่าสูงขึ้น เมื่อเพิ่มแรกกัดหัวเชื่อมจาก 15 นิวตันไปถึง 20 นิวตันจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงให้มีค่า
 - 4.2 ที่แรกกัดหัวเชื่อมใดๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการเชื่อมให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลง

เมื่อนำค่าความต้านทานแรงดึงที่ได้จากการทดลองไปเปรียบเทียบกับค่าในปัจจุบันพบว่าสมรรถนะของกระบวนการเชื่อมพลาสติกนั้นถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ความแปรปรวนของค่าความต้านทานแรงดึงลดลงจาก 26.36 เป็น 3.7
2. การกระจายตัวของความต้านทานแรงดึงมีค่าลดลงจาก P-Value 0.011 เป็น 0.567
3. ค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่าสูงขึ้นจากเดิม 0.59 เป็น 1.69 แสดงให้เห็นว่าระดับความผันแปรของกระบวนการระยะสั้นและความสามารถเนื่องจากกระบวนการระยะสั้นมีค่าดีขึ้นจากเดิม
4. ค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (P_{pk}) มีค่าสูงขึ้นจากเดิม 0.55 เป็น 1.75 แสดงให้เห็นว่าระดับความผันแปรของกระบวนการระยะยาวและความสามารถเนื่องจากกระบวนการระยะยาวมีค่าดีขึ้นจากเดิม

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมพลาสติกก่อนและหลังการปรับปรุง

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลลัพธ์
ความต้านทานแรงดึง	มากกว่า 60 นิวตัน	มากกว่า 60 นิวตัน	ผ่าน
ความแปรปรวน	26.36	3.7	ดีขึ้น
การกระจายตัว (P-Value) ของความต้านทานแรงดึง	0.011	0.567	ดีขึ้น
ค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (Cpk)	0.59	1.69	ดีขึ้น
ค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว (Ppk)	0.55	1.75	ดีขึ้น

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ว่าการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้านทานแรงดึงในการเชื่อมพลาสติกนั้น นอกจากส่งผลต่อกระบวนการเชื่อมพลาสติกในส่วนของเวลาก่อนการทำงานและเพิ่มจำนวนการการผลิตชิ้นงานแล้วยังเป็นประโยชน์ต่อสมรรถนะของกระบวนการเชื่อมพลาสติกช่วยให้ค่าความต้านทานแรงดึงในแต่ละจุดที่ได้มีค่าคงที่มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบปัจจุบัน

5.2 อุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

1. เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมเวลาที่ใช้ในการเชื่อมและแรงกดหัวเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมนั้นไม่ใช่ระบบอัตโนมัติ การควบคุมระดับปัจจัยขณะทำการทดลองใช้พนักงาน 2 คนในการปฏิบัติงาน หนึ่งคนสำหรับเชื่อมชิ้นงานและดูแรงกดหัวเชื่อมเพื่อให้ได้ค่าตามค่าการทดลอง และอีกหนึ่งคนสำหรับดูเวลาในการเชื่อมและแจ้งผู้เชื่อมให้หยุดปฏิบัติงานเมื่อถึงเวลาที่กำหนด ในช่วงแรกพนักงานผู้ทำการเชื่อมพลาสติกก็มีความเคยชินกับกระบวนการเชื่อมในปัจจุบันจึงทำการกดหัวเชื่อมและใช้เวลาในการเชื่อมเกินกว่าหรือน้อยกว่าระดับที่ตั้งไว้ จึงต้องใช้เวลาในการฝึกฝนพนักงานและใช้จำนวนชิ้นงานมากกว่าที่ประเมินไว้เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ตรงกับระดับปัจจัยที่ตั้งไว้

2. ในช่วงการทดลองเกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องตัดชิ้นงานซึ่งใช้สำหรับเตรียมชิ้นงานสำหรับการทดสอบแรงดึงชั่วคราว เนื่องจากเครื่องตัดนี้มีเพียงเครื่องเดียวและไม่สามารถใช้อุปกรณ์อื่นตัดชิ้นงานได้ จึงต้องทำการซ่อมแซมให้เครื่องกลับมาใช้งานได้ตามปกติก่อนจึงทำการทดลองต่อได้ ทำให้การทดลองมีความล่าช้า

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. หลังจากที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาทำการเปลี่ยนหัวเชื่อมให้เป็นแบบควบคุมเวลาที่ใช้ในการเชื่อมได้และควบคุมแรงกดหัวเชื่อมโดยอัตโนมัติได้แล้วนั้น ควรทำการฝึกฝนพนักงานให้ใช้เครื่องมืออย่างถูกต้องเพื่อเป็นการประหยัดเวลา

2. ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการเชื่อมกับพลาสติกชนิดอื่นๆ ที่ใช้ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาด้วยเช่นกัน เนื่องจากโรงงานแห่งนี้มีการเชื่อมชิ้นงานที่ผลิตจากพลาสติกชนิดอื่นด้วยเช่นกัน ซึ่งอาจช่วยลดเวลาการทำงานในกระบวนการเชื่อมของชิ้นงานอื่นได้เช่นเดียวกับพลาสติกชนิดพอลิโพรพิลีน (PP)

3. โรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ในกรณีศึกษาสามารถทำการลดความหนาของชิ้นงานในกรณีศึกษาในการผลิตชิ้นงานรุ่นต่อไป เนื่องจากที่ความหนาผิวเชื่อมที่น้อยกว่าปัจจุบัน (2.5 มิลลิเมตร) กับปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องส่งผลให้มีความต้านทานแรงดึงของจุดเชื่อมมากกว่า 60 นิวตันต่อจุดเช่นกัน ซึ่งการลดความหนาของชิ้นงานนี้จะช่วยลดน้ำหนักของชิ้นงานให้มีน้ำหนักเบาขึ้นอย่างไรก็ตามควรศึกษาร่วมกันกับความแข็งแรงทนทานที่ชิ้นงานนั้นๆต้องการเพื่อให้ชิ้นงานนั้นเป็นไปตามมาตรฐานของการใช้งานในทุก ๆ ด้าน

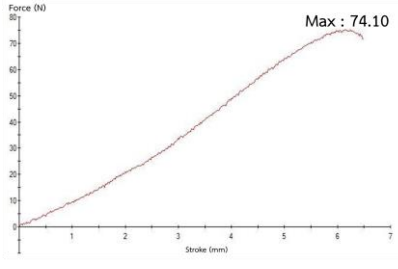
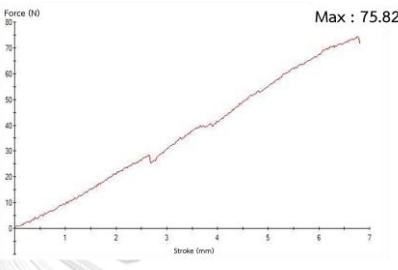
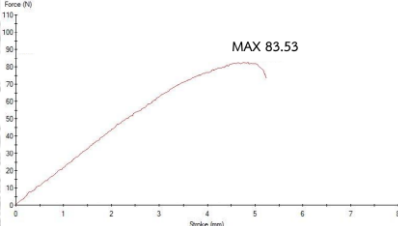
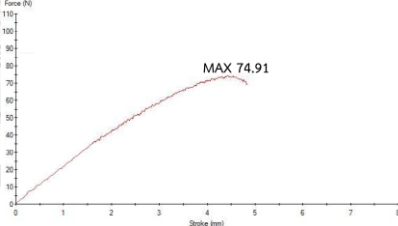
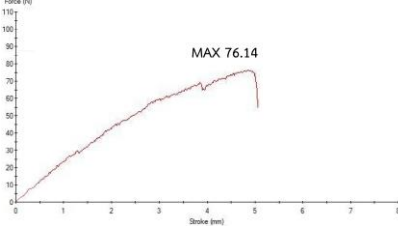
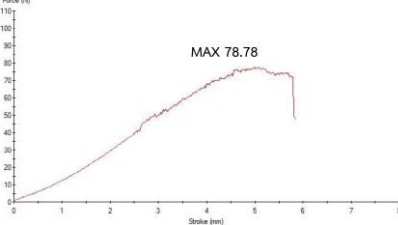
4. ในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมพลาสติกแบบอัลตราโซนิคควรนำปัจจัยความถี่ของเครื่องเชื่อมมาใช้ในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของรอยเชื่อม เนื่องจากความถี่ของเครื่องเชื่อมนั้นส่งผลต่อการละลายของพลาสติก

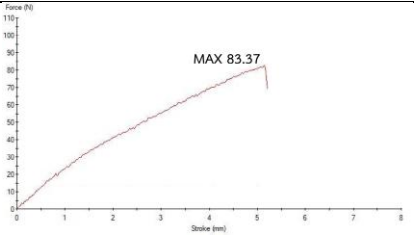
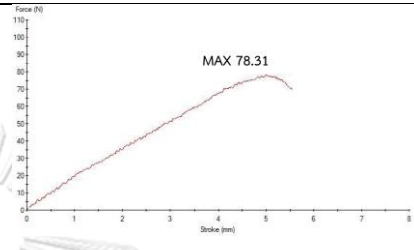
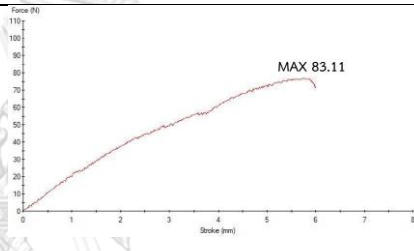
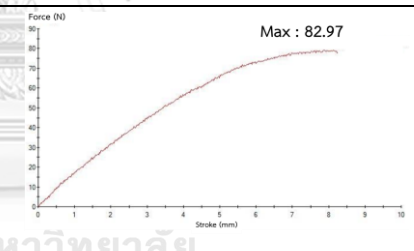
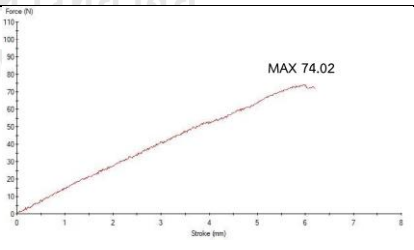
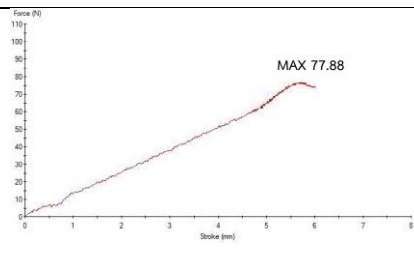
บรรณานุกรม

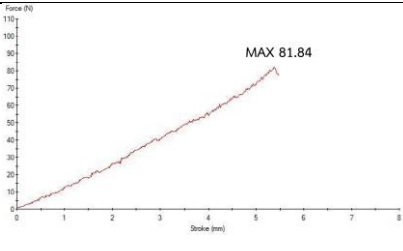
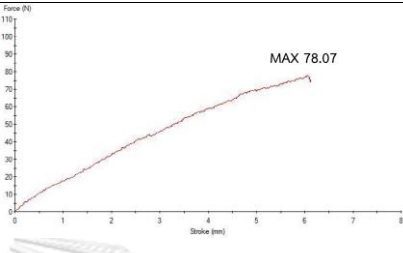
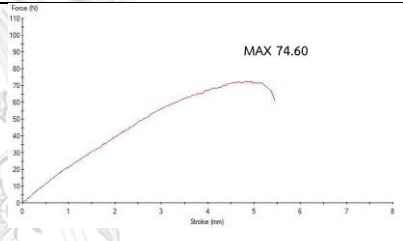
1. เตชะวิญญูธรรม, ผ.ว., วิศวกรรมกรรมฉีดพลาสติก, ed. 1. 2553, สำนักพิมพ์ส.ส.ท. 248.
2. ปารเมศ ชูติมา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, ed. 1. 2545, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 542.
3. Wang., *SYSTEMS AND METHODS FOR ULTRASONIC WELDING*. United States Patent, 2018: p. 10.
4. IRENE FERNANDEZ VILLEGAS, H.E.N.B., *Ultrasonic Welding of Advanced Thermoplastic Composites: An Investigation on Energy-Directing Surfaces*. 2010: p. 117.
5. Srushti A. Trivedi, J.J.T., Raviprakash C. Patel, Praful H. Suthar., *A Review Paper on Parametric Optimization of Ultrasonic Welding for Non-Metallic (Polypropylene) Material* IJSRD, 2017.
6. Umang Parmar, D.H.P., *Experimental Investigation of Ultrasonic Welding on Non-metallic Material*. ICIAME, 2016.
7. Takao HIRAI, F.K., Tatsuya YOSHIDA, Saiji WASHIO., *Prediction of dynamic behavior of workpieces in ultrasonic plastic welding*. APVC, 2015: p. 7.
8. Patrikios., *ULTRASONIC WELDING DEVICE*. 2012(14Feb2012): p. 8.
9. Thaerigen, *Ultrasonic vibration unit*. 2016(18Nov2014): p. 7.
10. Wang, *SYSTEMS AND METHODS FOR IMPROVED ULTRASONIC WELDING USING ENERGY DIRECTOR-LOCATING ALGORITHM* 2015(12Feb2015): p. 14.
11. Raza, S.F., *Ultrasonic welding of thermoplastics* 2015: p. 322.
12. สิทธิกร เลิศอริยสกุล, การลดปริมาณของเสียในกระบวนการพิมพ์โค้ดแบบหมึกลงบนผลิตภัณฑ์กระป๋อง. 2018: p. 127.
13. ภูมินทร์ แจ่มเชื้อ, การลดฟองอากาศในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติก. 2011: p. 118.
14. ตัณฑ์วิช, ป., การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนวัตถุระเบิดด้วยกระบวนการเพนตันไฟฟ้า. 2010: p. 115.





จุดเชื่อมต่อที่	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
1	74.10	
2	75.82	
3	83.53	
4	74.91	
5	76.14	
6	78.78	

จุดเชื่อมที่	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
7	83.37	
8	78.31	
9	83.11	
10	82.97	
11	74.02	
12	77.88	

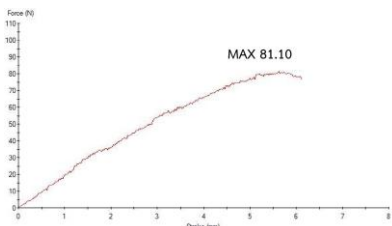
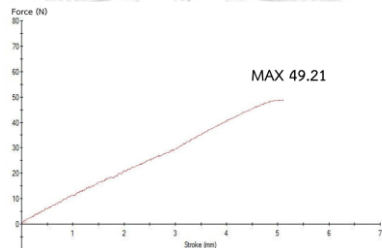
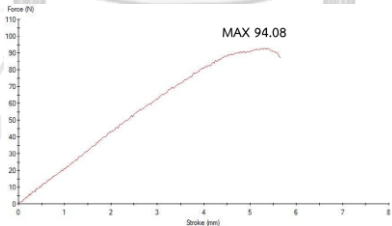
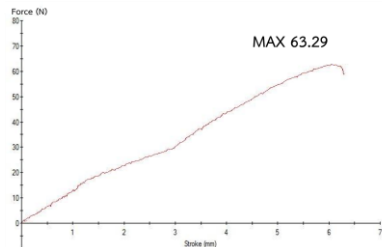
จุดเชื่อมต่อที่	ความต้านทานแรงดึง (นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
13	81.84	 <p>MAX 81.84</p>
14	78.07	 <p>MAX 78.07</p>
15	74.60	 <p>MAX 74.60</p>

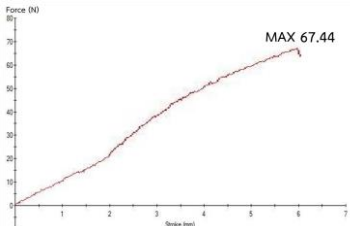
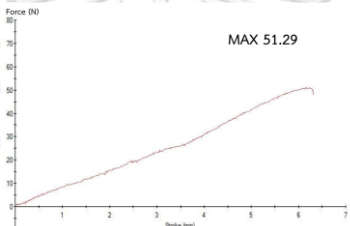
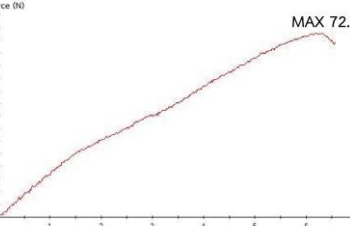
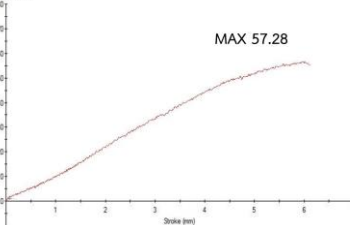
ภาคผนวก ข

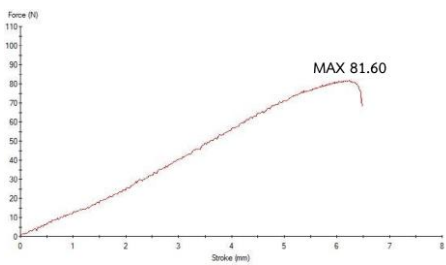
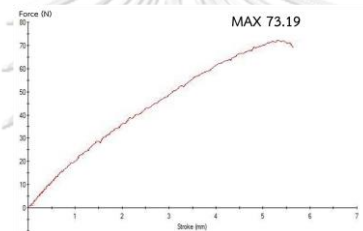
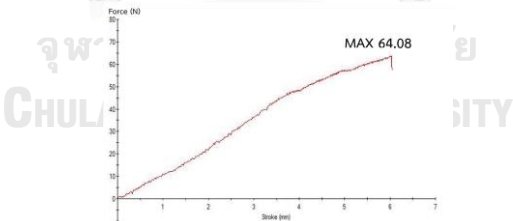
ความต้านทานแรงดึงจากการออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken

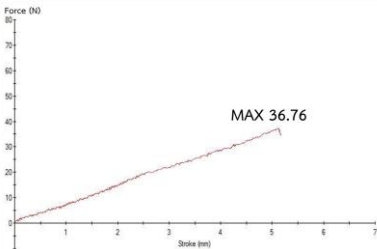
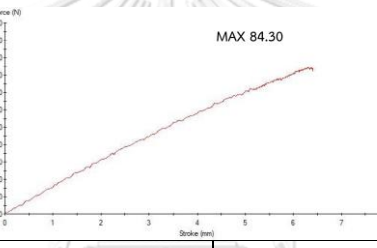
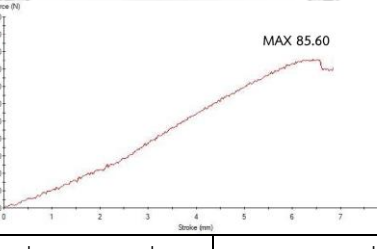
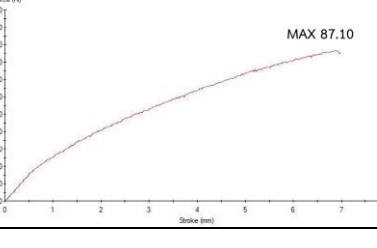


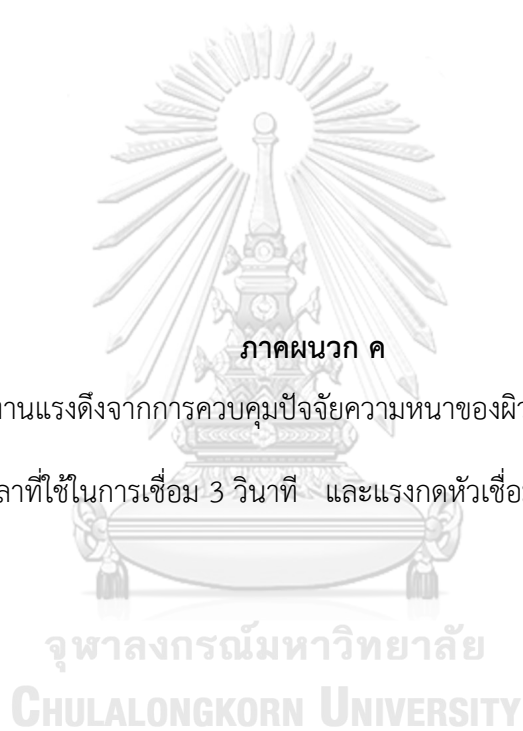
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

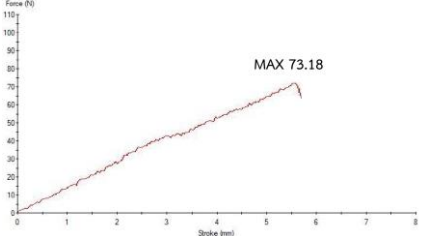
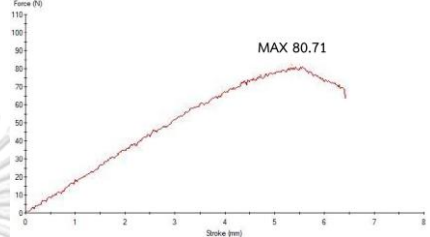
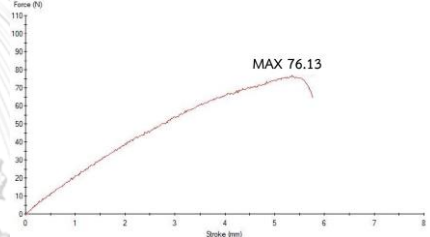
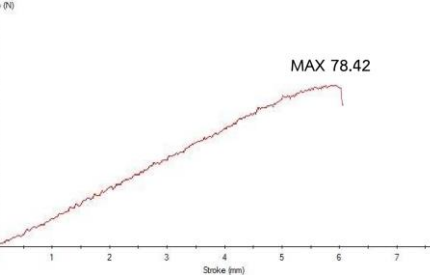
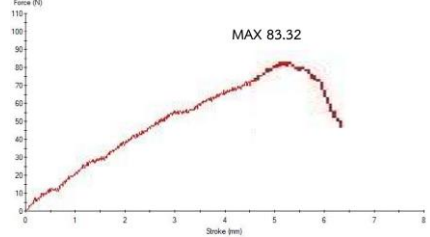
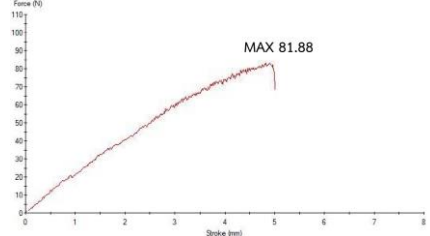
ความหนาของผิวเชื่อม 2.1 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 80.10 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง 			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.1 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 5 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 49.21 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง 			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 94.08 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง 			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 5 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 63.29 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง 			

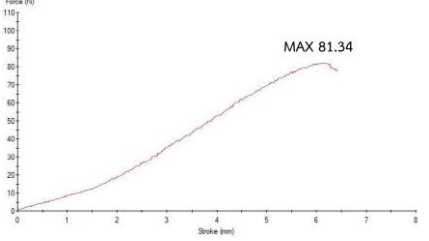
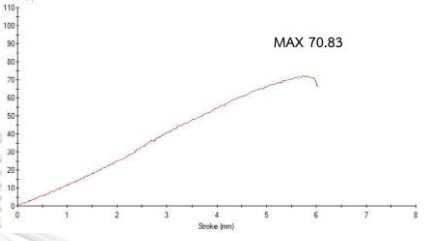
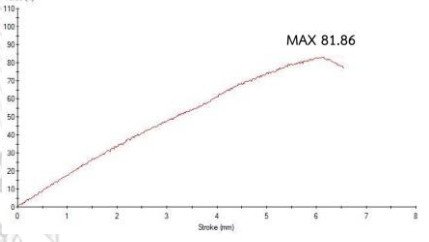
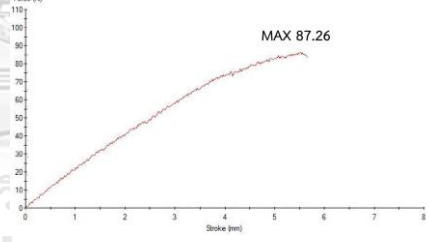
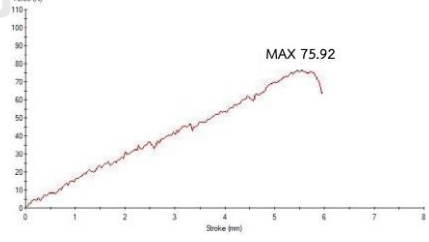
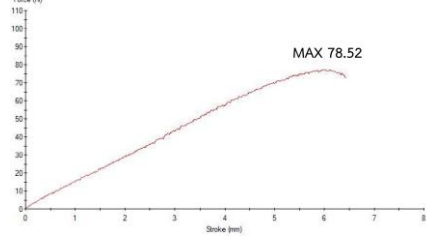
ความหนาของผิวเชื่อม 2.1 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 67.44 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X. ค่าสูงสุด (MAX) อยู่ที่ 67.44 นิวตัน.</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.1 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 51.29 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X. ค่าสูงสุด (MAX) อยู่ที่ 51.29 นิวตัน.</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 72.19 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X. ค่าสูงสุด (MAX) อยู่ที่ 72.19 นิวตัน.</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 57.28 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X. ค่าสูงสุด (MAX) อยู่ที่ 57.28 นิวตัน.</p>			

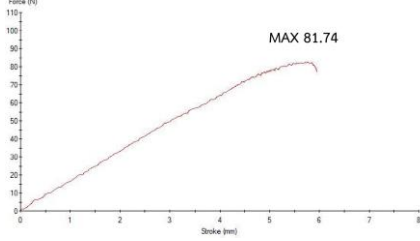
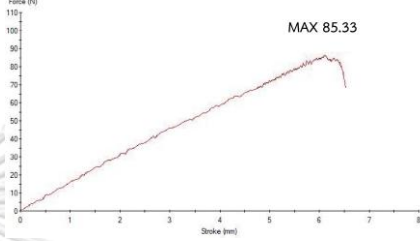
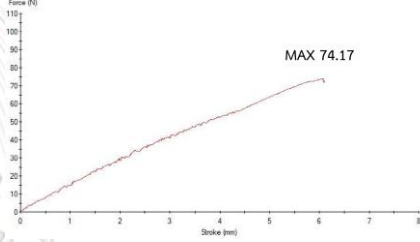
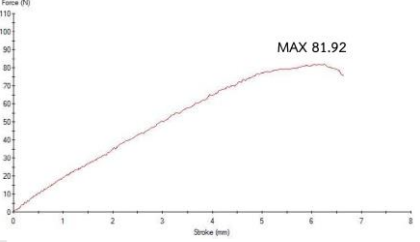
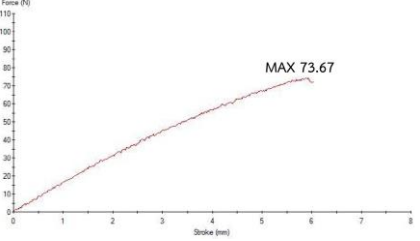
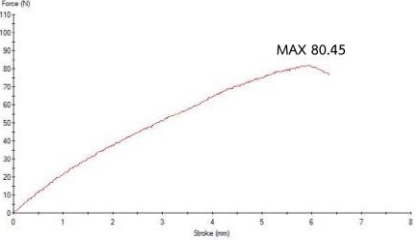
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 81.60 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 110) และระยะการยืด (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 8). เส้นกราฟแสดงการยืดตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดที่ MAX 81.60 นิวตันที่ระยะการยืดประมาณ 6.5 มม.</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 3 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 73.19 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 80) และระยะการยืด (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 7). เส้นกราฟแสดงการยืดตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดที่ MAX 73.19 นิวตันที่ระยะการยืดประมาณ 5.5 มม.</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 5 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 10 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 64.08 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง			
 <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 80) และระยะการยืด (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 7). เส้นกราฟแสดงการยืดตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดสูงสุดที่ MAX 64.08 นิวตันที่ระยะการยืดประมาณ 6 มม.</p>			

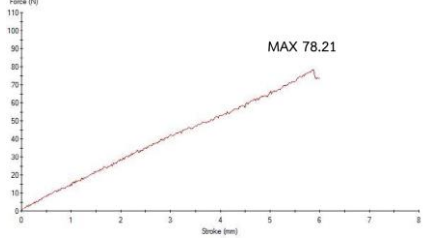
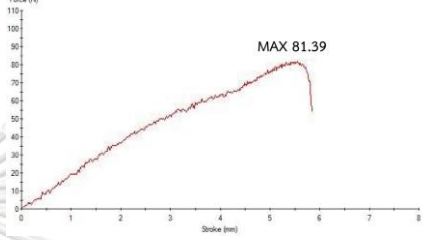
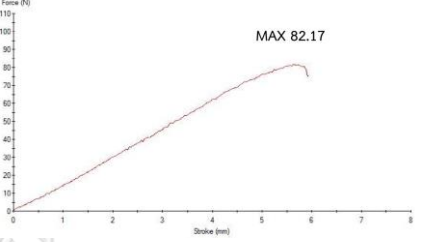
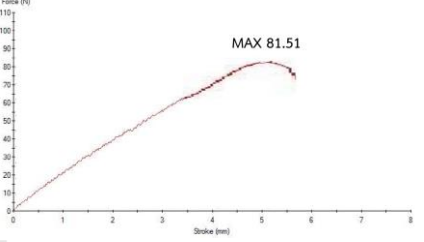
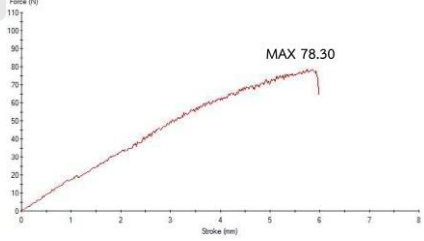
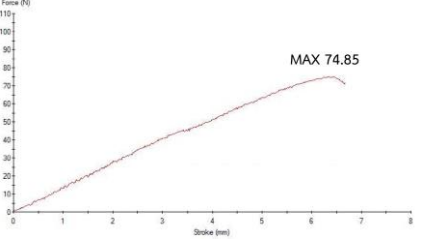
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 5 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 20 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 36.76 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง  <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 80) และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 7). เส้นกราฟแสดงแรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจาก 0 ถึง 36.76 นิวตันที่ระยะการดึง 5 มม. ค่าสูงสุด (MAX) 36.76 นิวตัน</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 84.30 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง  <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 110) และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 8). เส้นกราฟแสดงแรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจาก 0 ถึง 84.30 นิวตันที่ระยะการดึง 6 มม. ค่าสูงสุด (MAX) 84.30 นิวตัน</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 85.60 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง  <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 110) และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 8). เส้นกราฟแสดงแรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจาก 0 ถึง 85.60 นิวตันที่ระยะการดึง 6 มม. ค่าสูงสุด (MAX) 85.60 นิวตัน</p>			
ความหนาของผิวเชื่อม 2.3 มิลลิเมตร	เวลาที่ใช้ในการเชื่อม 4 วินาที	แรงกดหัวเชื่อม 15 นิวตัน	ความต้านทานแรงดึง 87.10 นิวตัน
กราฟความต้านทานแรงดึง  <p>กราฟแสดงแรงดึง (Force (N)) บนแกน Y (0 ถึง 110) และระยะการดึง (Stroke (mm)) บนแกน X (0 ถึง 8). เส้นกราฟแสดงแรงดึงที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอจาก 0 ถึง 87.10 นิวตันที่ระยะการดึง 7 มม. ค่าสูงสุด (MAX) 87.10 นิวตัน</p>			

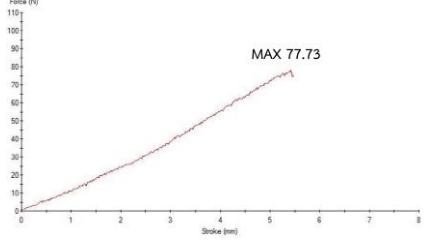
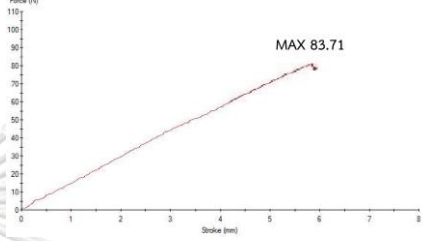
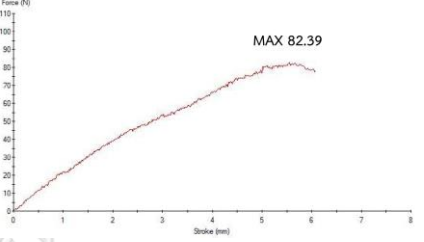
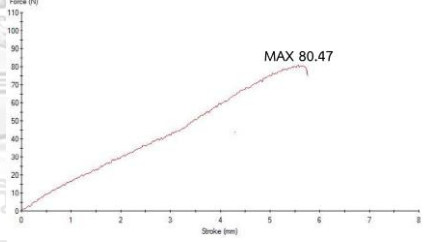
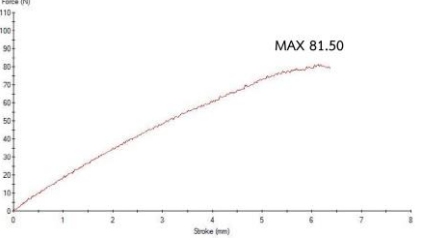
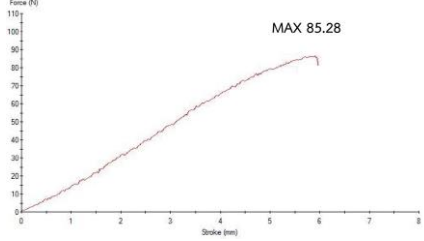


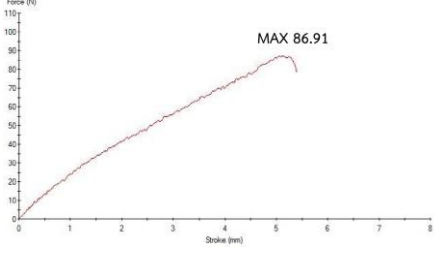
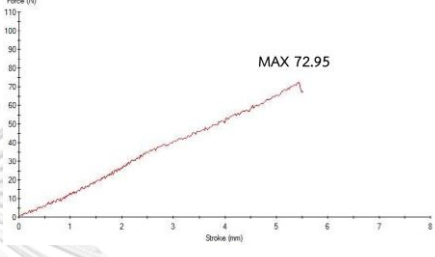
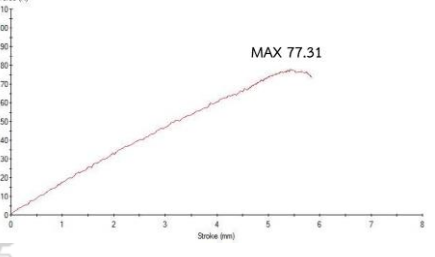
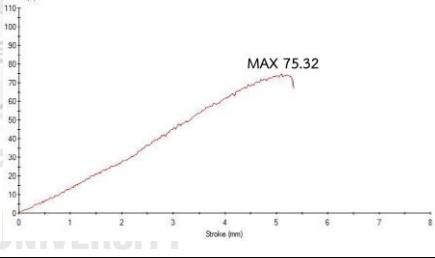
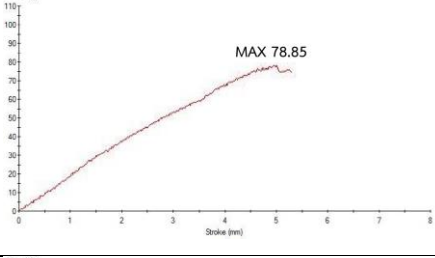
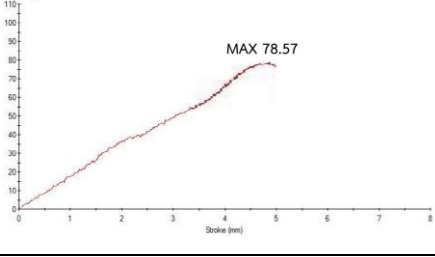
จุดเชื่อมที่	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N1-1	73.18	
N1-2	80.71	
N1-3	76.13	
N1-4	78.42	
N1-5	83.32	
N1-6	81.88	

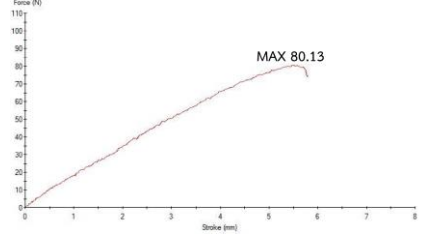
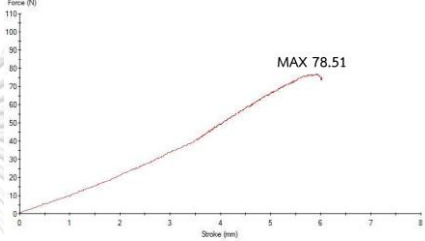
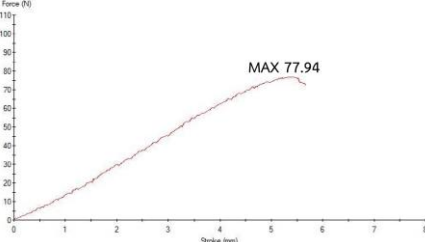
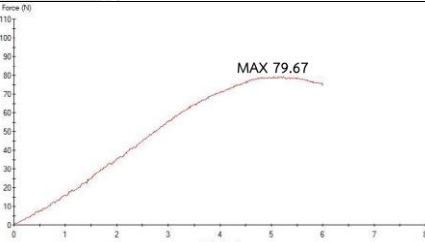
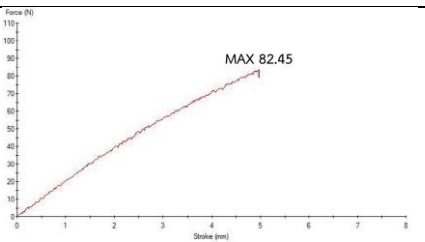
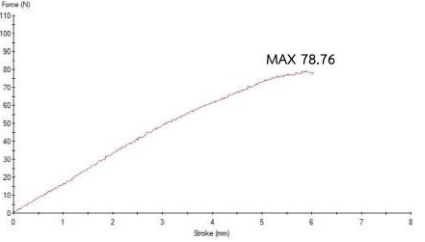
จุดเชื่อมต่อ	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N1-7	81.34	
N1-8	70.83	
N1-9	81.86	
N1-10	87.26	
N1-11	75.92	
N1-12	78.52	

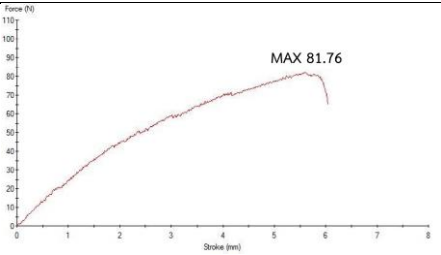
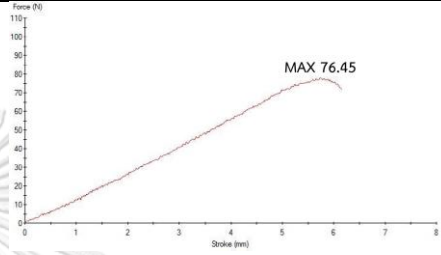
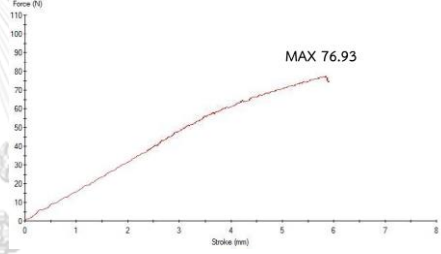
จุดเชื่อมที่	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N1-13	81.74	 <p>MAX 81.74</p>
N1-14	85.33	 <p>MAX 85.33</p>
N1-15	74.17	 <p>MAX 74.17</p>
N2-1	81.92	 <p>MAX 81.92</p>
N2-2	73.67	 <p>MAX 73.67</p>
N2-3	80.45	 <p>MAX 80.45</p>

จุดเชื่อมที่	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N2-4	78.21	 <p>MAX 78.21</p>
N2-5	81.39	 <p>MAX 81.39</p>
N2-6	82.17	 <p>MAX 82.17</p>
N2-7	81.51	 <p>MAX 81.51</p>
N2-8	78.30	 <p>MAX 78.30</p>
N2-9	74.85	 <p>MAX 74.85</p>

จุดเชื่อมต่อ	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N2-10	77.73	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 77.73</p>
N2-11	83.71	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 83.71</p>
N2-12	82.39	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 82.39</p>
N2-13	80.47	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 80.47</p>
N2-14	81.50	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 81.50</p>
N2-15	85.28	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 85.28</p>

จุดเชื่อมต่อ	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N3-1	86.91	
N3-2	72.95	
N3-3	77.31	
N3-4	75.32	
N3-5	78.85	
N3-6	78.57	

จุดเชื่อมที่	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N3-7	80.13	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 80.13</p>
N3-8	78.51	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 78.51</p>
N3-9	77.94	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 77.94</p>
N3-10	79.67	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 79.67</p>
N3-11	82.45	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 82.45</p>
N3-12	78.76	 <p>Force (N)</p> <p>Stroke (mm)</p> <p>MAX 78.76</p>

จุดเชื่อมต่อ	ความต้านทานแรงดึง(นิวตัน)	กราฟความต้านทานแรงดึง
N3-13	81.76	
N3-14	76.45	
N3-15	76.93	

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	กมลพรรณ เขตสูงเนิน
วัน เดือน ปี เกิด	9 กรกฎาคม 2533
สถานที่เกิด	นครปฐม
วุฒิการศึกษา	วศ.บ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	นครปฐม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY