

Received: Mar 27, 2025

Revised: Dec 26, 2025

Accepted: Dec 26, 2025

การลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสำหรับแป้นเกลียว เชื่อม M12x1.25 มิลลิเมตร ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

DEFECT REDUCTION IN SPOT WELDING PROCESS FOR M12x1.25mm WELD NUTS USING ENGINEERING EXPERIMENTAL DESIGN TECHNIQUES

ศุภพัทร ศิลาลอย สุภัทรา หมูป่ารัง*

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Supat Silaloy, Supatthra Muparang*

¹Department of Industrial Engineering and Logistics, School of Engineering and Innovation, Rajamangala
University of Technology Tawan-ok

*Corresponding author: Email: supattra_mu@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องจากข้อเรียกร้องของลูกค้าเกี่ยวกับปัญหาแป้นเกลียวเชื่อมหลุด ในผลิตภัณฑ์คานรองรับกระบะรถยนต์ กระบวนการวิจัยได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด โดยพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลต่อปัญหาแป้นเกลียวหลุด ได้แก่ ปริมาณกระแสไฟฟ้า เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน และแรงกดของหัวทาบ ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติพบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด คือ กระแสไฟฟ้า 14 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 12 ไซเคิล และแรงกดหัวทาบ 4,000 นิวตัน เมื่อนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการผลิตจริงพบว่า ช่วยลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทแป้นเกลียวหลุดจากเดิม 42 ชิ้น (0.34%) เหลือ 0 ชิ้น ส่งผลให้ไม่มีข้อบกพร่องในประเภทดังกล่าวอีกต่อไป และเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: พารามิเตอร์ที่เหมาะสม, กระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด, การออกแบบการทดลอง

Abstract

This research aims to reduce the number of defective products resulting from customer complaints regarding the detachment of welded nuts in automotive truck bed support beams. The study applies engineering experimental design techniques to determine the optimal parameters for the resistance spot welding process. The key parameters affecting the issue of nut detachment include welding current, welding time, and electrode force. Statistical analysis results indicate that the optimal parameters for the resistance spot welding process are a welding current of 14 kA, a welding time of 12 cycles, and an electrode force of 4,000 N. When these optimal parameters were implemented in actual production, the number of defective products due to nut detachment decreased from 42 pieces (0.34%) to 0 pieces. This effectively eliminated defects of this type and significantly improved customer satisfaction.

Keywords: Optimal parameter, Resistance Spot Welding, Design of Experiment

บทนำ

เนื่องด้วยทางบริษัทแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ส่งให้ลูกค้า ในงานการทำแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนรถยนต์ ตัวถังรถยนต์และรถบรรทุก รวมถึงหมอน้ำเครื่องจักรกลการเกษตรและอื่นๆ ปัจจุบันทาง

บริษัทมีผลิตภัณฑ์อยู่ 3 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 ผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนงานปั๊ม ประเภทที่ 2 ผลิตภัณฑ์ตัวถังรถยนต์ เป็นกระบวนการที่นำชิ้นส่วนจากงานปั๊มมาประกอบเข้าด้วยกันให้เป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ลูกค้าต้องการ และประเภทที่ 3 ผลิตภัณฑ์ตัวถังรถบรรทุกที่มีการประกอบและทำสี EDP (Electro Deposition Point) ตามที่ลูกค้ากำหนด

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ประเภทชิ้นส่วนนั้นมีความหลากหลายของตัวชิ้นงานที่ต้องนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่งกระบวนการประกอบที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ คือ การเชื่อมความต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นให้ยึดติดกันเป็นชิ้นเดียว โดยกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด ใช้ในการยึดชิ้นส่วนแป้นเกลียวเชื่อม (Nut Weld) ให้ติดกับชิ้นงาน ขนาดแป้นเกลียวเชื่อมนั้นมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ขนาด M5 ถึง M12 ตามมาตรฐาน TSB1503G (Toyota Motor Corporation, 2007) ซึ่งที่ผ่านมาพบว่าแป้นเกลียวเชื่อมที่ติดกับชิ้นงานนั้นเกิดการหลุดออกจากชิ้นงาน และส่งผลกระทบต่อลูกค้า โดยเมื่อส่งชิ้นงานที่มีการประกอบแป้นเกลียวเชื่อมให้กับลูกค้าพบว่าชิ้นงานที่นำเข้าไปประกอบในสายการผลิตของลูกค้านั้นเกิดการหลุดของแป้นเกลียวเชื่อม ส่งผลให้สายการผลิตของลูกค้าต้องหยุดชะงัก และต้องนำชิ้นงานดังกล่าวออกมาซ่อมแซมแก้ไข และมีการเรียกร้องจากลูกค้าให้มีการแลกเปลี่ยนชิ้นงานใหม่มาแทนที่ชิ้นงานที่มีข้อบกพร่อง และชิ้นงานที่มีในสต็อก (Stock) ของลูกค้า เพื่อให้ทางฝ่ายประกันคุณภาพของบริษัทนั้นทำการตรวจสอบและยืนยันผลว่าชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องนั้นได้ผ่านการตรวจสอบคุณภาพและทำการส่งชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบเข้าไปยังสต็อกของลูกค้าใหม่ ซึ่งลักษณะการเกิดปัญหานี้เกิดเป็นของเสียจำนวนมากและเสียเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขเพื่อยืนยันคุณภาพ ซึ่งทางลูกค้าได้กำหนดเป้าหมายของอัตราการแลกเปลี่ยนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องไว้ไม่เกิน 3PPM (Parts Per Million) ต่อเดือน ซึ่งทางบริษัทต้องควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ให้อยู่ในเป้าหมายจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ทางผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะแก้ไขปัญหาเหล่านี้ โดยทำการศึกษากาการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อทำการควบคุมพารามิเตอร์ของกระบวนการเชื่อมจุดแบบความต้านทาน ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีคุณภาพตามที่กำหนดได้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. กระบวนการเชื่อมแบบความต้านทาน (Resistance Welding Process) (Aslanlar, 2006)

การเชื่อมแบบความต้านทานเป็นการเชื่อมที่ใช้ความร้อนและแรงกด ซึ่งได้รับความร้อนจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรอยต่อของชิ้นงาน ความต้านทานของรอยต่อของโลหะชิ้นงานจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเพียงพอที่จะทำให้โลหะร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ทำให้โลหะอยู่ในสภาวะพลาสติก (Plastic State) และเริ่มอยู่ในสภาพหลอมละลาย จากนั้นเมื่อโลหะที่อยู่ในสภาวะดังกล่าวได้รับแรงกดเข้าด้วยกันจะทำให้โลหะทั้งสองหลอมละลายติดกัน หลังจากเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โลหะจะเย็นตัวลงอยู่ในสภาวะของแข็งทำให้ได้รอยเชื่อมตามต้องการ การเชื่อมด้วยความต้านทานเป็นที่ยอมรับเนื่องจากเชื่อมงานได้รวดเร็ว การบิดงอของโลหะชิ้นงานมีน้อย สามารถปรับปรุงเป็นระบบอัตโนมัติได้ง่ายเมื่อต้องการผลผลิตที่สูง สามารถปรับปรุงให้เป็นส่วนหนึ่งในสายงานประกอบและขึ้นรูปได้ อีกทั้งประหยัดเวลาและเร็วกว่าการเชื่อมอาร์ค

2. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) คือ การทดสอบครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ออก (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้นโดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรหรือปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปรหรือปัจจัยที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or Noise Variables Factors) โดยทั่วไปแล้วตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables)

3. วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM)

วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology : RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยที่ผลตอบสนองที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปรและมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบสนอง โดยส่วนใหญ่จะแสดงพื้นผิวตอบสนองในรูปของกราฟฟิก เพื่อที่จะช่วยให้มองรูปร่างของพื้นผิวตอบสนองได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะพล็อตเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวตอบสนอง

โดยที่ปัญหาส่วนใหญ่จะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนและตัวแปรอิสระ โดยในขั้นแรกจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระ อาจจะเป็นแบบจำลองของผลตอบแทนมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองกำลังหนึ่ง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Qiu et al. ทำการเชื่อมอลูมิเนียมผสมเกรด A5052 เข้ากับแผ่นเหล็กรีดเย็น SPCC และเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้วย การเชื่อมตันทนแบบจุด และทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกลียวกลองจุลทรรศน์แบบสอง กวาด ความแข็งแรงของรอยต่อทำการศึกษาด้วยการทดสอบแรงดึงแบบกากบาท และทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างจุลภาคบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อเกลียวและความแข็งแรงของรอยต่อ ผลการทดลองพบว่า ความแข็งแรงมี ความสัมพันธ์โดยตรงกับชั้นสารประกอบกึ่งโลหะ (Qiu et al., 2010) ที่เกิดการก่อตัวขึ้นบริเวณอินเทอร์เฟซของรอยต่อส่วน ชั้นสารประกอบกึ่งโลหะที่ไม่ต่อเนื่องส่วนมากพบที่บริเวณขอบของรอยต่อและหากส่วนที่ไม่ต่อเนื่องนี้มีคามากจะทำให้ความ แข็งแรงของรอยต่อมีค่าเพิ่มขึ้น

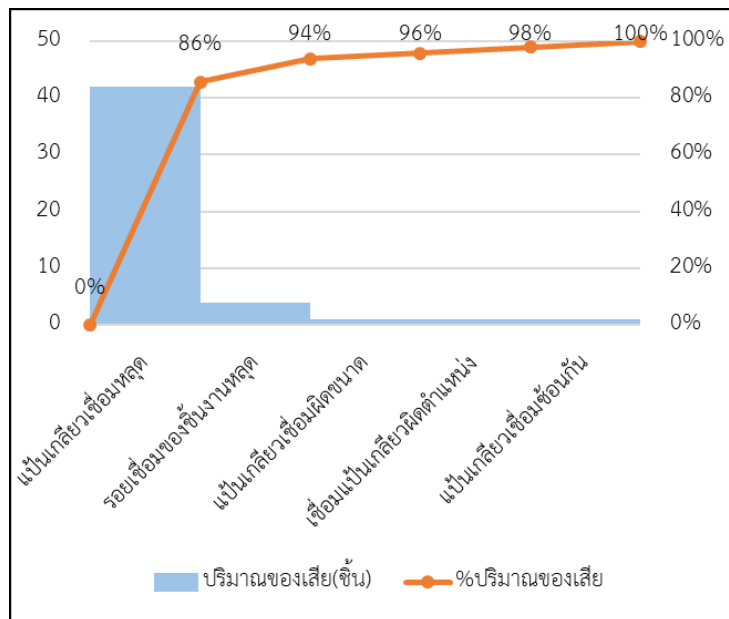
Aslanlar et al. ทำการศึกษาค่าอิทธิพลของกระแสการเชื่อมตันทนแบบจุดที่มีผลต่อสมบัติทางกลของแผ่นเหล็ก เคลือบสังกะสีและโครไมต์ (Aslanlar et al., 2007) ความหนาของแผ่นเหล็กมีค่า 1.2 มม. เครื่องเชื่อมตันทนแบบจุดเป็น เครื่องเชื่อมที่สามารถควบคุมเวลาและกระแสไดขนาด 120 kVA ช่วงเวลาการเชื่อม มีค่า 5-15 ไซเคิล กระแสเชื่อม 4-12 kA แรงกดต่อเล็กโทรดมีค่าคงที่ 6 kN และนำชิ้นงานที่ได้ไปทำการทดสอบแรงดึงเฉือนและลอกผิว เพื่อหาสถานะการเชื่อมที่ เหมาะสม ผลการทดลองพบว่า ค่าความแข็งแรงเฉือนสูงสุดหาได้จากเมื่อเชื่อมด้วยกระแส 10 kA 15 ไซเคิล ความลึกของการ ซึมลึกมีค่า 15% ของความหนาวัสดุ แต่ไม่เกิน 20% เพื่อทำให้ได้ผิวหนาแนวเชื่อมที่มีคุณภาพ ค่าผิวหนาแนวเชื่อมที่ดีที่สุดพบ ได้ เมื่อทำการเชื่อมด้วยกระแส 10 kA 10 ไซเคิล และกระแส 9 kA 12 ไซเคิล ซึ่งทำให้เกิดการซึมลึกประมาณ 8% ของความ หนา ขณะที่ค่าความแข็งแรงของการลอกผิวพบได้ที่แนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระแส 11 kA 10 ไซเคิล ความแข็งแรงที่ได้มีค่า ประมาณครึ่งหนึ่งของค่าความแข็งแรงเฉือน ค่าสถานะการเชื่อมที่แนะนำให้ใช้เพื่อให้ได้การซึมลึกประมาณ 8% ของความ หนาวัสดุ คือ กระแส 11 kA 10 ไซเคิล

การดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการหาคาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมแบบจุด เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการศึกษาเก็บ รวบรวมข้อมูล และขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งปัจจุบันบริษัทผลิตคานรองรับกระบะรถยนต์ส่งให้ลูกค้าต่าง ๆ จากการเก็บ ข้อมูลข้อร้องเรียนจากลูกค้า ผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่องจากลูกค้าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2567 ปรากฏว่า ผลิตภัณฑ์คานรองรับ กระบะรถยนต์มีข้อร้องเรียนมากที่สุด คือ ปัญหาแป้นเกลียวเชื่อมหลุดทั้งหมด เป็นจำนวน 42 ชิ้น ส่งผลให้มีการหยุดไลน์การ ผลิตของลูกค้าเพื่อแก้ไขปัญหาและยังมีปัญหารอยเชื่อมของชิ้นงานหลุด 4 ชิ้น ปัญหาแป้นเกลียวเชื่อมผิดขนาด 1 ชิ้น ปัญหา การเชื่อมแป้นเกลียวผิดตำแหน่ง 1 ชิ้น ปัญหาแป้นเกลียวเชื่อมซ้อนกัน 1 ชิ้น ซึ่งในช่วงเดือนพฤศจิกายน มีการผลิตคาน รองรับกระบะรถยนต์จำนวน 14,300 ชิ้น และมีของเสียเกิดขึ้น คิดเป็น 0.34 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 1 และแสดงดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณของเสียเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567

ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์	ปริมาณของเสีย(ชิ้น)
แป้นเกลียวเชื่อมหลุด	42
รอยเชื่อมของชิ้นงานหลุด	4
แป้นเกลียวเชื่อมผิดขนาด	1
การเชื่อมแป้นเกลียวผิดตำแหน่ง	1
แป้นเกลียวเชื่อมซ้อนกัน	1



ภาพที่ 1 กราฟฟารेटแสดงปริมาณของเสีย เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2567

ผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทแป้นเกลียวเชื่อมหลุดของผลิตภัณฑ์คานรองรับกระเบมาดำเนินการแก้ไข ซึ่งมีลักษณะรอยเชื่อมแป้นเกลียวติดอยู่กับชิ้นงาน ซึ่งใช้แป้นเกลียวขนาด M12x1.25 มิลลิเมตร มีรอยของการหลอมละลายแป้นเกลียวติดอยู่ แต่แป้นเกลียวเชื่อมหลุดออก แสดงดังภาพที่ 2 จากปัญหาดังกล่าวต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาแป้นเกลียวเชื่อมหลุด ซึ่งผู้วิจัยได้หารือกับทีมงานวิศวกรของบริษัท ปัญหาอาจเกิดจากพารามิเตอร์ของการเชื่อมความต้านทานแบบจุดไม่คงที่ (สุรพงศ์ & เสกสันต์, 2553; สิทธิพงศ์, 2558) ไม่มีมาตรฐานในการทำงาน เนื่องจากในรายงานการผลิตระดับพารามิเตอร์การเชื่อมความต้านทานแบบจุดมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงานจะตั้งค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมประกอบและบริษัทไม่มีแนวทางการทำงานที่ถูกกำหนดขึ้นให้เป็นมาตรฐานในกระบวนการผลิต (SOP) ผู้วิจัยจึงกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในทดลอง ได้แก่ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม ระยะเวลาที่ใช้เชื่อม และแรงกดของหัวทูปที่ใช้ในการเชื่อม ดังตารางที่ 2 ซึ่งได้มาจากการออกแบบการทดลองส่วนประสมกลาง ข้อมูลจากการทดลองตามแผนการทดลองเชิงสถิติด้วยเทคนิค CCD ของกระบวนการผลิตการเชื่อมแป้นเกลียว หลังจากประมวลผลระดับของพารามิเตอร์ในการทดลองแล้ว จะได้แผนการทดลองจำนวน 40 ชุด คือ ทดลองจำนวน 2 ครั้ง แสดงข้อมูลการทดลองได้ดังตารางที่ 3 โดยผลตอบสนอง Tensile คือ ค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อม



ภาพที่ 2 ลักษณะแป้นเกลียวเชื่อมหลุดของผลิตภัณฑ์คานรองรับกระเบ

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์สำคัญตามการทดลอง CCD

ระดับ	กระแสไฟฟ้า (kA.) : I	ระยะเวลา (Cycles) : T	แรงกด (F) : N
ระดับ 1	11	5	1800
ระดับ 2	12	7	2500
ระดับ 3	13	10	3500
ระดับ 4	14	13	4500
ระดับ 5	15	15	5200

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์และผลการทดลอง

ลำดับ	I กระแส (kA)	T เวลา (Cycles)	F แรงกด (F)	Y Tensile (kN)
1	12	13	4500	13.36
2	13	10	3500	18.31
3	12	7	2500	14.30
4	13	10	3500	17.90
5	12	7	4500	8.14
6	13	10	3500	17.83
7	14	7	2500	17.45
8	13	15	3500	18.47
9	14	13	4500	16.36
10	14	13	2500	15.95
11	13	10	3500	18.12
12	13	10	1818	14.03
13	12	13	2500	14.43
14	14	7	2500	16.60
15	11	19	3500	8.21
16	12	13	2500	16.52
17	14	7	4500	15.36
18	13	10	5182	13.18
19	12	13	4500	16.67
20	11	10	3500	8.46
21	13	10	5182	18.42
22	12	7	2500	14.66
23	15	10	3500	20.30
24	13	15	3500	19.07
25	14	7	4500	15.00
26	13	10	3500	18.58

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์และผลการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	I กระแส (kA)	T เวลา (Cycles)	F แรงกด (F)	Y Tensile (kN)
27	14	13	2500	16.18
28	13	10	3500	18.45
29	13	5	3500	11.94
30	14	13	4500	18.98
31	13	10	3500	18.38
32	13	10	3500	18.50
33	13	10	3500	18.30
34	13	10	3500	18.45
35	13	10	3500	18.30
36	13	5	3500	12.08
37	15	10	3500	20.12
38	13	10	1818	14.06
39	13	10	3500	18.60
40	12	7	4500	8.08

สรุปผลการทดลอง

หลังจากทดลองเชื่อมตามการทดลองได้นำชิ้นงานมาทดสอบ ตามมาตรฐานการทดสอบแป้นเกลียวเชื่อมด้วยแรงบิดมาตรฐาน TSB1503G ดังภาพที่ 3 และการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ (Statistical Analysis) ตามการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (CCD) (Montgomery, 2005) นั้น สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังภาพที่ 4 พบว่าเมื่อพิจารณาที่ตัวแปรตอบสนอง คือ ความแข็งแรงของรอยเชื่อมพบว่าปัจจัยที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งได้แก่ ปัจจัยหลัก (main effect) จำนวน 2 ปัจจัย คือ กระแสไฟฟ้า (I) และเวลาเชื่อม (T) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ กระแสไฟฟ้าและเวลาเชื่อม (p-value < 0.05)

สมการแสดงปัญหาของแป้นเกลียวเชื่อมหลุด เป็นผลลัพธ์ของการผลิตผลิตภัณฑ์คานรองรับกระเบรรถยนต์ซึ่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระแสไฟฟ้า เวลาเชื่อม และแรงกดหัวทาบ สามารถแสดงสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{Tensile (kN)} = & -258.6 + 38.05 \text{ Current (I)} + 4.78 \text{ Welding Time (T)} \\
 & - 0.00686 \text{ Electrode Force(F)} - 1.380 \text{ Current (I)*Current (I)} \\
 & - 0.1094 \text{ Welding Time (T)*Welding Time (T)} \\
 & - 0.000001 \text{ Electrode Force(F)*Electrode Force(F)} \\
 & - 0.265 \text{ Current (I)*Welding Time (T)} + 0.000824 \text{ Current (I)} \\
 & * \text{Electrode Force(F)} + 0.000390 \text{ Welding Time (T)*Electrode Force(F)}
 \end{aligned} \tag{1}$$

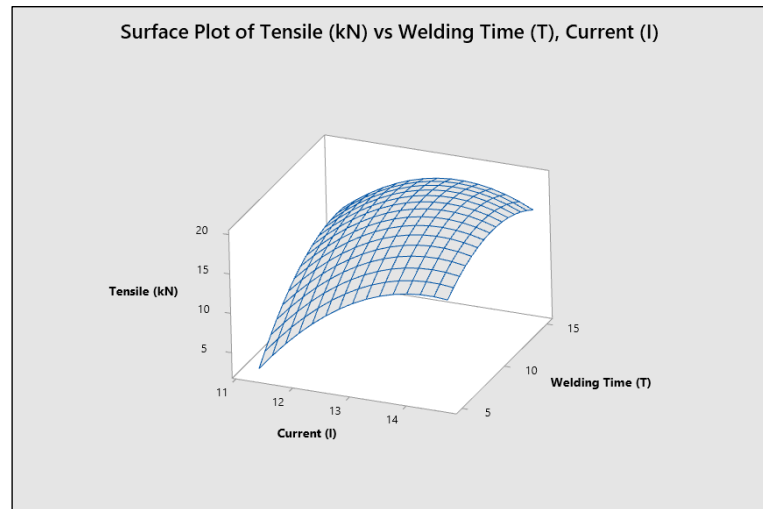


ภาพที่ 3 การทดสอบแป้นเกลียวเชื่อมด้วยแรงดึงของลูกค้ำตามมาตรฐาน TSB1503G

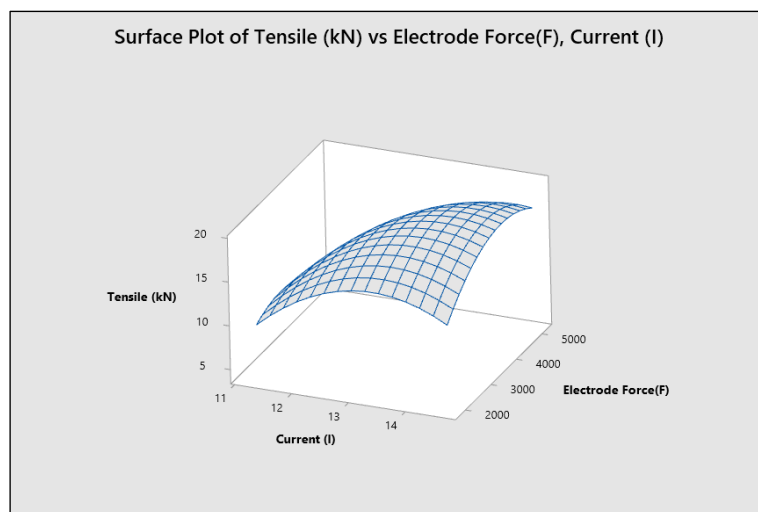
Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	9	368.153	40.906	17.47	0.000
Linear	3	223.690	74.563	31.84	0.000
Current (I)	1	157.854	157.854	67.40	0.000
Welding Time (T)	1	63.352	63.352	27.05	0.000
Electrode Force(F)	1	2.484	2.484	1.06	0.311
Square	3	101.559	33.853	14.45	0.000
Current (I)*Current (I)	1	54.889	54.889	23.44	0.000
Welding Time (T)*Welding Time (T)	1	27.958	27.958	11.94	0.002
Electrode Force(F)*Electrode Force(F)	1	38.130	38.130	16.28	0.000
2-Way Interaction	3	42.904	14.301	6.11	0.002
Current (I)*Welding Time (T)	1	10.144	10.144	4.33	0.046
Current (I)*Electrode Force(F)	1	10.857	10.857	4.64	0.039
Welding Time (T)*Electrode Force(F)	1	21.902	21.902	9.35	0.005
Error	30	70.264	2.342		
Lack-of-Fit	5	44.012	8.802	8.38	0.000
Pure Error	25	26.252	1.050		
Total	39	438.417			

ภาพที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนการทดลอง

ในส่วนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง ในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ระหว่างกระแสไฟฟ้า เวลาเชื่อม และแรงกดหัวทูปของแรงดึงสูงสุด จะเห็นว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าและเวลาเชื่อมเพิ่มเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความแข็งแรงของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้นในส่วนองแรงกดหัวทูปส่งผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อมไม่มาก

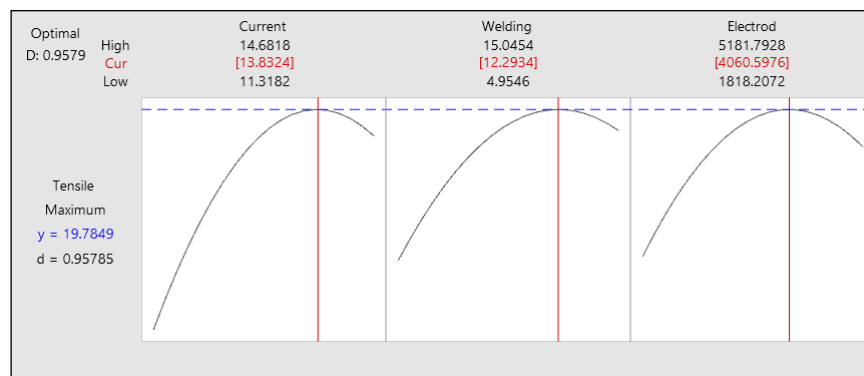


ภาพที่ 5 Response surface for interaction effect of welding time and current on tensile



ภาพที่ 6 Response surface for interaction effect of electrode force and current on tensile

การวิเคราะห์หาสภาวะพารามิเตอร์ที่เหมาะสม (Parameters Optimization) ของการลดปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทแป้นเกลียวเชื่อมหลุดของผลิตภัณฑ์คานรองรับกระบะ ดังแสดงในภาพที่ 7 จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของผลิตภัณฑ์คานรองรับกระบะ คือ กระแสไฟฟ้า 14 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 12 วินาที และแรงกดหัวทูป 4,000 นิวตัน ซึ่งจะทำให้ไม่พบปัญหาผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทแป้นเกลียวเชื่อมหลุดของผลิตภัณฑ์คานรองรับกระบะ ผู้วิจัยจึงใช้พารามิเตอร์ที่ได้ ทดลองผลิตสินค้าจริง จำนวน 100 ชิ้น [10] ไม่พบชิ้นงานแป้นเกลียวเชื่อมหลุดอีก



ภาพที่ 7 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของพารามิเตอร์

อภิปรายผล

จากการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง พบว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟฟ้า เวลาเชื่อม และแรงกดหัวทูป มีผลต่อความแข็งแรงของแนวเชื่อม (Mekboon & Plongmai, 2016; Manochai & Jongprasithporn, 2012) เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ (Parameters Optimization) สำหรับกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด คือ กระแสไฟฟ้า 14 กิโลแอมแปร์ เวลาเชื่อม 12 วินาที และแรงกดหัวทูป 4,000 นิวตัน นำมาทดลองผลิตสินค้าจริง จำนวน 100 ชิ้น ไม่พบชิ้นงานแป้นเกลียวเชื่อมหลุด หลังจากนั้นสร้างเป็นมาตรฐานการทำงาน (Standard and Operation : S&OP) สำหรับกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของผลิตภัณฑ์คานรองรับกระบะ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่กรุณาให้การสนับสนุนและการช่วยเหลือด้านการเก็บข้อมูลชิ้นงานตัวอย่าง ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้งานโปรแกรม Minitab สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- Aslanlar, A., Qgur, A., Ozasarac, U., Ilhan, E., & Demir, Z. (2007). Effect of welding current on mechanical properties of galvanized chromided steel sheets in electrical resistance spot welding. *Materials and Design*, 28, 2–7.
- Manochai, S., & Jongprasithporn, S. (2012). Productivity improvement by design and analysis of experiments: Case study: Base of choke up. *The 13th Conference on GRC* (pp.318–329).
- Mekboon, S., & Plongmai, J. (2016). Defects reduction in metal parts production process. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 6(1), 91–106.
- Montgomery, D. C. (2005). *Design and analysis of experiments* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- Phipatpaiboon, M., & Hongsakornprasert, P. (2016). Defects reduction in a tractor peripheral equipment manufacturing plant using design of experiments technique. *The 12th Conference on NRIC* (pp. 318–329).
- Qiu, R., Shi, H., Zhang, K., Tu, Y., Iwamoto, C., & Satonaka, S. (2010). Interfacial characterization of joint between mild steel and aluminum alloy welded by resistance spot welding. *Materials Characterization*, 61, 684–688.

- Rassamee, S., Srisatyakul, P., & Siwawut, S. (2018, May). Optimization of conditions for strength in bagasse-reinforced concrete forming. *The the 3rd Conference of RMTC* (pp. 314–318).
- Toyota Motor Corporation. (2007). *TSB1503G: Projection weld nuts* (9th ed., pp. 1–7). Toyota Engineering Standards.
- Vural, M., Akkus, A., & Eryurek, B. (2006). Effect of welding nugget diameter on the fatigue strength of the resistance spot welded joints of different steel sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 176, 127–132.
- Sitthiphong, S. (2015). *Reduction of waste in the resistance spot welding process of automotive components*. Department of Industrial Engineering and Production Systems, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
- Surapong, C., & Seksan, P. (2010). *Improvement of diode spot welding process using design of experiments: A case study*. Panasonic Electric Works (Thailand) Co., Ltd. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
- Krungthep. Sarawut, K., & Wirun, P. (2011). *Optimization of cutting accuracy in laser-cut PVC sheet*. Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep.
- Pramote, P., Prokch, S., Sakchai, J., & Kittiphong, K. (2010). *Annual research report 2009: Improvement of FSW joint quality in aluminum alloy 6063-T1 automotive structures using various tool shapes*. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.
- Parinya, S. (2003). *Design and analysis of experiments to determine optimal conditions for solder printing and reflow on PCB*. Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- Wuttichai, S., Anek, K., & Itsawares, K. (2003). *Shear testing process for resistance spot welding joints*. Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.