

การลดข้อบกพร่องที่มาจาก การแจ้งข้อร้องเรียน ในงานดัดแปลงรถบรรทุก ตามความต้องการของลูกค้า Defects Reduction from The Complaints as Customer Modification Requirements

สมยศ ผ่องใส* และ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์

Somyos Phongsai and Jeerapat Ngaoprasertwong

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,
 Chulalongkorn University, Phayathai Road, Patumwan, Bangkok, Thailand, 10330

*E-mail: punkpink_me_za@windowslive.com

*Telephone Number: +66924864039

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องจากข้อร้องเรียนของลูกค้าในงานดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัท กระจกศึกษา โดยศึกษาส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้า ข้อร้องเรียนจากข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายเป็นสิ่งที่ถูกแจ้งมากที่สุด ซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน และภาพลักษณ์ที่ไม่ดีต่อบริษัท ผู้วิจัยจึงนำเอาเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ ดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการดัดแปลงในส่วนงานเชื่อมโลหะให้มีคุณภาพ โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^{k-1} (2^{k-1} Factorial Design) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ และการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองมี 5 ปัจจัย คือ กระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟ มุมลวดเชื่อม ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม และการปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนเชื่อม ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลจากการทดลองพบว่า ปัจจัยกระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟ และความเร็วในการเดินลวดเชื่อม ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระแสไฟ 230 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟ 26 โวลต์ และความเร็วในการเดินลวดเชื่อม 40 ซม./นาที จากผลของการปรับปรุงครั้งนี้ทำให้สัดส่วนของเสียที่เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุก ส่วนงานเชื่อมโลหะจาก 0.23% ลดลงเหลือ 0.08% ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายงานซ่อมแซมของบริษัทกระจกศึกษาลงได้

คำสำคัญ: ซิกซ์ ซิกม่า การออกแบบการทดลอง การดัดแปลงรถบรรทุก ข้อบกพร่อง ข้อร้องเรียน

ABSTRACT

This research aims to decrease faults from the complaints by the customer from the case study company's truck modification, focusing on customer's order truck modification. The study has shown that damaged chassis have the greatest number of complaints, which negatively affects both safety of users and the company's image. Therefore, the researcher has applied the Six Sigma technique with

DMAIC methods to improve the quality of welding modification process. The 2k-1 Factorial Design has been used to find the significantly fault causing factor and the Box-Behnken Design has been used to find the appropriate level of factors – from the five factors used in the study which are electric current, electromotive force, electrode angle, travel speed and rules of welding observing. The researcher has collected and analyzed statistical significance showing that electric current, electromotive force and travel speed have significantly caused the faults: the appropriate electric current is 230A, the appropriate electromotive force is 26V and the appropriate travel speed is 40 cm/min. This improvement has diminished proportion of faults in welding modification process from 0.23% to 0.08% which resulted in decreased repairing expenses of the case study company.

Keywords: Six Sigma, Design, Truck modification, Faults, Complaints

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผู้ผลิตรถยนต์เพื่อการพาณิชย์มีการแข่งขันทางการตลาดค่อนข้างสูง เป็นผลให้บริษัทจำเป็นต้องพัฒนาผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างหลากหลายให้สามารถตอบโจทย์การใช้งานของลูกค้าได้สูงสุด การพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่สำคัญคือ งานดัดแปลงรถบรรทุก บริษัทจะทำการดัดแปลงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งในปี 2561 ที่ผ่านบริษัทได้รับแจ้งข้อร้องเรียน (Complaints) เข้ามาจำนวนมาก เนื่องจากรถบรรทุกที่ดัดแปลงออกไปให้ลูกค้านั้น พบข้อบกพร่องของชิ้นส่วนอุปกรณ์ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานที่สูญเปล่า นอกจากนี้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นแล้ว บริษัทจะสูญเสียภาพลักษณ์ รวมถึงยอดขายที่ลดลงอีกด้วย ปัญหาดังกล่าวจึงถือว่ามีความสำคัญต่อบริษัท

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายในงานดัดแปลงรถบรรทุก เพื่อเพิ่มคุณภาพให้กับงานดัดแปลงรถบรรทุก และลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานให้กับบริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

งานวิจัยฉบับนี้เป็นกรณีศึกษาสภาพปัญหา การเกิดข้อบกพร่อง รวมถึงปัจจัยนำเข้า (Input) เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย และเพิ่มคุณภาพให้กับงานดัดแปลงรถบรรทุกในส่วนงานเชื่อมโลหะ อย่างหลักแชสซีของรถบรรทุก (Chassis Frame) ผู้วิจัยจึงนำเอา

หลักการของงานเชื่อมโลหะมาวิเคราะห์ และพิจารณาเพื่อหาสาเหตุในการดำเนินการแก้ไข และเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มาเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อเพิ่มคุณภาพงานดัดแปลงรถบรรทุก

การเชื่อมโลหะ (Welding)

การเชื่อมโลหะเป็นกระบวนการเชื่อมต่อโลหะ 2 ชิ้นขึ้นไป ด้วยการหลอมละลายเนื้อโลหะให้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน หรือโดยการเติมลวดเชื่อมเป็นตัวประสานอย่างแข็งแรงและมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยความร้อนจากการอาร์ค (Arc) ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะกับลวดเชื่อม (สมชาย เถาสมบัติ) การเชื่อมโลหะจะถูกแบ่งเป็นประเภทใหญ่ 2 ประเภท ดังนี้

1. การเชื่อมด้วยไฟฟ้า (Arc Welding) หรือการเชื่อมโลหะด้วยการเชื่อมอาร์ค ความร้อนที่ใช้เกิดจากประกายอาร์คระหว่างชิ้นงานและลวดเชื่อม หลอมละลายลวดเชื่อมกับเนื้อโลหะให้ประสานแนวเชื่อมกัน วิธีเชื่อมโลหะโดยการทำให้โลหะหลอมละลายพร้อมกับลวดเชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า

2. การเชื่อมด้วยแก๊ส (Gas Welding) คือกระบวนการที่ทำให้โลหะประสานกัน โดยการให้ความร้อนสูงถึง 3,200 องศาเซลเซียส กับโลหะจนถึงอุณหภูมิที่โลหะชนิดนั้นสามารถหลอมละลายได้ เมื่อโลหะหลอมละลายจะรวมตัวเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (เชิดเชลง ชิดชวนกิจ)

ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

งานวิจัยนี้นำเอาเทคนิคซิกซ์ ซิกม่า มาเป็นแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการดัดแปลง โดยดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC 5 ขั้นตอน ดังนี้ (พิศาล เพลินภูเขียว)

1. การกำหนดปัญหา (Define Phase) ศึกษาข้อมูลการคัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทรถบรรทุกศึกษา โดยพิจารณาจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากงานคัดแปลงรถบรรทุกตามที่ถูกค้าแจ้งข้อร้องเรียนมาจำนวนมากที่สุดในช่วงปี 2561 มาดำเนินการแก้ไขก่อน และกำหนดขอบเขตของงานวิจัยให้ชัดเจน

2. การวัดเก็บข้อมูล (Measure Phase) ตรวจสอบสภาพข้อบกพร่องและระดมสมอง (Brainstroming) เพื่อหาสาเหตุ และปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการคัดแปลงด้วยแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด โดยวิเคราะห์ความแม่นยำ (Repeatability) และความเที่ยงตรง (Reproducibility) ของระบบไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์เครื่องเชื่อม และการตรวจสอบความสามารถระบบการวัดของพนักงาน โดยการวัดค่าและแยกแยะข้อมูลออกเป็น ผ่าน (P) และไม่ผ่าน (NG) ตามข้อกำหนด หรือที่เรียกว่า Gage R&R

3. การวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase) นำเอาปัจจัยนำเข้ามาทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง 5 ปัจจัย แบ่งเป็นระดับ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง โดยทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ เพื่อทดสอบหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญ และการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนันเคน เพื่อหาค่าเหมาะสมของปัจจัย

4. การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) นำเอาค่าเหมาะสมของปัจจัยที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานทางสถิติมาดำเนินการกำหนดในขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงานในกระบวนการคัดแปลงรถบรรทุก และทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เพื่อยืนยันค่าปัจจัยนำเข้า โดยเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

5. การติดตาม และควบคุม (Control Phase) กำหนดค่าระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมากำหนดเป็น

วิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ให้กับพนักงานในกระบวนการคัดแปลง จัดทำเป็นคู่มือและจัดอบรมพนักงาน เพื่อให้เกิดทักษะฝีมือการทำงานก่อนปฏิบัติงานจริง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เคย์ ชิงชล (2543) ได้ศึกษางานบริการในฝ่ายขายของบริษัทจัดจำหน่ายรถบรรทุก โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD เพื่อจะปรับปรุงคุณภาพของงานบริการของฝ่ายขาย เริ่มจากทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อรถบรรทุกของลูกค้า การสำรวจความต้องการของลูกค้า ด้วยการออกไปสอบถาม หรือสัมภาษณ์กับลูกค้า ทั้งภายในและภายนอกเพื่อให้ทราบและเข้าใจความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิควิธีการแปรหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment หรือ QFD) แบบ Four Phase Model ซึ่งจะประกอบไปด้วย 4 เฟส ในเฟสที่ 1 การวางแผนด้านผลิตภัณฑ์ (Product Planning หรือ House of Quality) จะเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการจากลูกค้าและแปลออกมาให้อยู่ในรูปคุณสมบัติทางเทคนิค เฟสที่ 2 การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design หรือ Product Deployment) เป็นขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยจะทำการแปลคุณสมบัติทางเทคนิคออกมาเป็นคุณสมบัติทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เฟสที่ 3 การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) จะเริ่มวิเคราะห์และวางแผนกระบวนการดำเนินงาน โดยจะพิจารณาและคัดเลือกกระบวนการที่จะใช้ในการดำเนินงานที่สามารถตอบสนองคุณสมบัติทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ และเฟสที่ 4 การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Process Control Planning) ซึ่งหลักจากที่ดำเนินงานวิจัยได้ผลลัพธ์ คือ งานบริการลูกค้าให้ได้ข้อมูลครบถ้วน ถูกต้อง และรวดเร็ว อีกทั้งงานด้านการติดตามและการดูแลลูกค้าที่มีคุณภาพ การลดเวลาการรอรับบริการ ข้อมูลที่มีความละเอียดเป็นการสร้างภาพลักษณ์ของบริษัทและสร้างความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์

ธีระพงษ์ สำราญ (2559) จากปัญหาของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดผิวดรูปและทรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เมื่อรวมทั้งสองประเภทแล้วมีจำนวนของเสียถึง 78.3% ซึ่งถือว่าเป็นปัญหาหลักของโรงงาน จึงได้ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และประยุกต์ใช้แนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยเริ่มจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเครื่องมือแผน ผัง ก้างปลา (Fish Bone Diagram) พบว่าข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูป มีสาเหตุจากช่องปล่อยทรายเครื่องปั้นไม่สม่ำเสมอและใช้แรงกดแบบทรานซ์น้อยเกินไป ส่วนข้อบกพร่องประเภททรายตก มีสาเหตุมาจาก Pin Bush สึกหรือและการปิดแบบเอียง ซึ่งจากปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูปและข้อบกพร่องประเภททรายตก จึงได้ดำเนินการออกแบบการทดลองแบบ ไซไนน์ (Shainin) เพื่อเปรียบเทียบหาตำแหน่งที่ดีที่สุด (Best of Best: BOB) ซึ่งหลังจากดำเนินการทดลองโดยใช้ระยะเวลา 3 เดือนพบว่า ข้อบกพร่องประเภทขนาดผิวดรูปลดลงจาก 9.11% เหลือ 1.58% และข้อบกพร่องประเภททรายตกลดลงจาก 4.95% เหลือ 0.60%

พิศาล เพลินภูเขียว (2559) ได้ศึกษาปัญหาของโรงงานผลิตโฟมสำหรับเบาะรถยนต์ เช่น ชิ้นงานเป็นหลุม ชิ้นงานฉีกขาด ชิ้นงานฉีดไม่เต็ม เป็นต้น ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก และจำนวนการซ่อมโฟมในการผลิตสูงเกินกว่าที่บริษัทจะยอมรับได้ จึงประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เข้ามาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหา พบว่าเกิดจากอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อนที่จะฉีดน้ำยาโฟม พนักงานฉีดน้ำยาแม่พิมพ์ปริมาณไม่เท่ากัน และระบบระบายอากาศของแม่พิมพ์ที่ไม่เพียงพอ ซึ่งหลังจากนั้นได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยให้ได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดและนำไปใช้ปรับปรุงในระบบ ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียทั้งสามประเภทลงได้ โดยคิดเป็น 58.12% ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 12,862 บาท

ต่อเดือน จากการทดลองที่สามารถลดปริมาณของเสียในระบบได้แล้วนั้น จำเป็นต้องควบคุมตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ โดยจัดทำเป็นเอกสารการกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Visual Management) ในแต่ละกระบวนการ

3. วิธีการวิจัยและผลการวิจัย

3.1 การกำหนดปัญหา

การศึกษาข้อมูลข้อร้องเรียน (Complaints) จากลูกค้าของข้อบกพร่องงานดัดแปลงรถบรรทุก (Modification) บริษัทกรมศึกษาในช่วงมกราคมถึง ธันวาคมปี 2561 พบว่างานดัดแปลงที่บริษัทดำเนินการดัดแปลงตามความต้องการของลูกค้ามีข้อบกพร่องเกิดขึ้นหลายประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลข้อร้องเรียนลูกค้าในงานดัดแปลงรถบรรทุก ช่วงมกราคมถึง ธันวาคมปี 2561 พบว่าบันทึกการร้องเรียนข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย จำนวนข้อร้องเรียนมากที่สุด โดยคิดเป็น 35.95% ของข้อร้องเรียนทั้งหมด และทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในงานซ่อมแซมที่สูง เป็นเงิน 10,110,000 บาทต่อปี

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาและกำหนดเป้าหมายของงานวิจัยฉบับนี้ คือ การลดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลง เพื่อลดข้อบกพร่องในงานดัดแปลงรถบรรทุก ของบริษัทกรมศึกษา

3.2 การวัดเก็บข้อมูล

1. การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

ปัญหาข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่ลูกค้าแจ้งข้อร้องเรียนเข้ามานั้น ตามเอกสารบันทึกรายงานข้อบกพร่องของฝ่ายรับประกันคุณภาพที่ผ่านการวิเคราะห์ปัญหาข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเกิดข้อบกพร่อง 5 ปัจจัย ดังนี้

1. การออกแบบงานตัดต่อแซสซี
2. การคำนวณทางวิศวกรรม การกระจายน้ำหนักของน้ำหนักบรรทุก และการรับน้ำหนักบรรทุกของรอยเชื่อม

3. การเชื่อมโลหะ เครื่องมือ และวิธีการเชื่อม
 4. การใช้งานของลูกค้ำ น้ำหนักบรรทุก และสภาพพื้นที่การใช้งาน
 5. การประกอบตัวถังของตู้ การเจาะรู การตัดปีก
- แชสซี
- เมื่อเก็บ ข้อมูล บันทึกการทำงาน (Work Attendance) หลังจากทำการตรวจสอบสภาพความเสียหายของแชสซี พบว่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากสาเหตุ

ของการเชื่อมแชสซีมีเปอร์เซ็นต์สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อพิจารณาตัวอย่างคุณภาพงานเชื่อมจะเห็นได้ว่ารอยเชื่อมที่แสดงในรูปที่ 1 บริเวณหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อม แนวเชื่อมไม่เต็มรอย เป็นต้น

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการศึกษาขั้นตอนการเชื่อมโลหะ และปรับปรุงขั้นตอนการเชื่อมโลหะให้มีคุณภาพและความแข็งแรงของรอยเชื่อม เพื่อการใช้งานของลูกค้ำที่ปลอดภัย

ตารางที่ 1 ข้อบกพร่องจากงานตัดแปดรถบรรทุกในช่วงมกราคมถึงธันวาคมปี 2561

ประเภทข้อบกพร่อง	ม.ค.61	ก.พ.61	มี.ค.61	เม.ย.61	พ.ค.61	มิ.ย.61	ก.ค.61	ส.ค.61	ก.ย.61	ต.ค.61	พ.ย.61	ธ.ค.61	รวม (ครั้ง)	สัดส่วน	ค่าใช้จ่าย (บาท/ครั้ง)	รวมค่าใช้จ่าย (บาท)
แชสซีแตก	34	50	87	47	51	72	44	52	78	48	53	58	674	0.230	15,000	10,110,000
รีดดีเสียหาย	20	14	25	25	29	16	5	17	34	11	14	19	229	0.078	1,386	317,394
สามล้อรั่ว	4	19	25	18	20	32	21	17	20	4	7	21	208	0.071	800	166,400
สายไฟขาด	5	21	13	19	27	18	10	31	44	14	9	18	229	0.078	2,590	593,110
วาล์วรั่ว	29	11	25	13	24	27	19	10	17	8	10	4	197	0.067	4,500	886,500
โบสถ์กลายตัว	10	12	24	3	15	10	29	17	15	8	2	6	151	0.052	86	12,986
ซิลิโคนฝ้ากรั่ว	7	2	1	0	8	10	7	15	2	0	4	0	56	0.019	1,285	71,960
พื้นสีบาง	10	12	8	16	7	2	15	10	11	9	10	21	131	0.045	2,000	262,000
รวม	119	141	208	141	181	187	150	169	221	102	109	147	1,875	รวม (บาท)		12,420,350
กำลังผลิต	141	192	237	216	269	283	189	239	350	170	207	438	2,930			

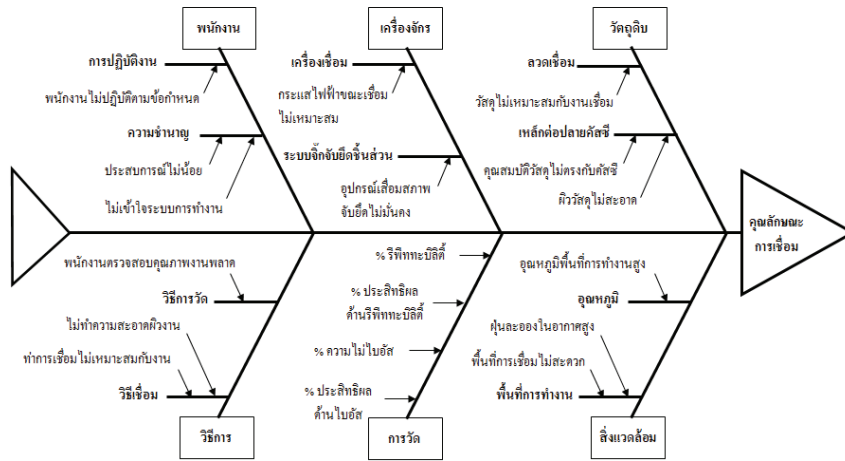
ตารางที่ 2 สาเหตุปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดแชสซีเสียหาย

ลำดับ	ปัจจัย	จำนวน	เปอร์เซ็นต์
1	การออกแบบงานตัดต่อแชสซี	0	0.00
2	การคำนวณทางวิศวกรรม	0	0.00
3	การเชื่อมโลหะ	408	60.53
4	การประกอบตัวถังของตู้	112	16.62
5	การใช้งานของลูกค้ำ	154	22.85
รวมทั้งหมด		674	100.00



รูปที่ 1 ลักษณะความเสียหายของแชสซีในจุดรอยเชื่อม

ในขั้นตอนนี้จึงทำการหาปัจจัยนำเข้าของคุณลักษณะของการเชื่อมโลหะที่มีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อม โดยเริ่มจากการจัดตั้งทีมผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้และประสบการณ์ในสายงานวิศวกรรมและการตัดแปดมาระดมสมอง (Brain Storming) วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดอาการข้อบกพร่องด้วยเครื่องมือแผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) (อาทิตยหงส์พันธุ์) โดยการใช้หลักการ 5M 1E คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) วิธีการ (Method) การวัด (Measurement) และสิ่งแวดล้อม (Environment) (อนุชา กิจสุทธิพงศ์) ดังรูปที่ 2 จากนั้นทำการกำหนดคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อข้อบกพร่อง โดยการให้คะแนน 9, 6, 3 และ 1 จากความสำคัญมากไปหาน้อยตามลำดับ ด้วยเมทริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 2 แผนภาพเหตุและผลของคุณลักษณะรอยเชื่อม

จากคะแนนระดับความสำคัญของปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย โดยปัจจัยที่ถูกนำมาพิจารณาเพื่อปรับปรุงแก้ไขก่อนนั้น 6 ปัจจัย คือ

1. วิธีการเชื่อม
2. วิธีการวัด
3. การปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม
4. อุปกรณ์เครื่องเชื่อม
5. ลวดเชื่อม
6. วัสดุเหล็กต่อปลายแซสซี

ตารางที่ 3 ปัจจัยนำเข้าและคะแนนระดับความสำคัญ

ลำดับ	ปัจจัย	คะแนน
1	วิธีการเชื่อม	9
2	การปฏิบัติตามข้อกำหนด	9
3	อุปกรณ์เครื่องเชื่อม	6
4	วิธีการวัด	6
5	ลวดเชื่อม	6
6	วัสดุเหล็กต่อปลายแซสซี	6
7	ความชำนาญของพนักงาน	3
8	ระบบจิกจับชิ้นส่วน	3
9	พื้นที่การทำงาน	1

ผู้วิจัยจึงนำเอาปัจจัยนำเข้าส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง ประเภทแซสซีเสียหายมาทำการศึกษา และวิเคราะห์ในกระบวนการต่อไป

2. การวิเคราะห์ระบบการวัด

โดยเริ่มต้นจากศึกษาปัจจัยของอุปกรณ์เครื่องเชื่อมที่มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดข้อบกพร่อง โดยทำการวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องมือด้านความเที่ยงตรง (Accuracy) ด้วยการประเมินผลด้านค่าไบอัส (Bias) เพื่อตรวจสอบความมีเสถียรภาพของเครื่องมือ

การประเมินผลด้านค่าไบอัส มีขั้นตอนดังนี้ (ประภัสสรณ สวัสดิ์วงษ์)

1. กำหนดค่ากระแสไฟฟ้า (Current) 250 แอมแปร์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) 25 โวลต์ ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมเป็นค่ามาตรฐาน เพื่อใช้ทำการตรวจสอบเครื่องเชื่อม
2. วัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ลวดเชื่อมโดยผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญการใช้เครื่องมือวัด ค่าละ 10 ครั้ง
3. คำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้กำหนดเป็นค่าอ้างอิง (Reference Value)
4. ให้พนักงานทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ลวดด้วยเครื่องมือ ค่าละ 10 ครั้ง
5. คำนวณค่าเฉลี่ย ค่าไบอัส และค่า % ไบอัส ดังตารางที่ 4
6. วิเคราะห์การประเมินผล และกำหนดเกณฑ์ยอมรับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลประเมินความไบอัสของเครื่องมือ

เครื่องมือ	เครื่องเชื่อม 1		เครื่องเชื่อม 2	
ตัวแปร	A	V	A	V
ค่าอ้างอิง	250.70	25.23	250.59	25.20
พจน. ตรวจสอบ	B	B	B	B
ค่าเฉลี่ย ข้อมูล 10 ครั้ง	250.28	25.29	250.33	25.20
ไบอัส	-0.42	0.06	-0.26	0.00
%ไบอัส	1.68	2.40	1.04	0.16

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ผล และการตัดสินใจ

ระดับค่าไบอัส	การตัดสินใจ
ค่า %ไบอัส < 5%	ยอมรับได้
$5\% \leq \text{ค่า \%ไบอัส} \leq 10\%$	ยอมรับได้ โดยขึ้นกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ค่า %ไบอัส > 10%	ไม่ยอมรับ ต้องทำการแก้ไข

จากการตรวจสอบค่าไบอัสของเครื่องมือ พบว่าเมื่อวัดค่าความแตกต่างของค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 100 แอมแปร์ ค่าวัดเนื่องจากค่าไบอัสของเครื่องมือจะมีค่าเท่ากับ ± 1.68 แอมแปร์ ซึ่งค่า % ไบอัสที่ได้มีค่า 1.68% < 5% จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด โดยวิเคราะห์ความแม่นยำ และความเที่ยงตรงของระบบการวัดของพนักงาน การตรวจสอบข้อบกพร่อง ประเภทคุณภาพรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งข้อมูลจากการตรวจสอบรอยเชื่อมจะถูกแยกแยะตามข้อกำหนดการตรวจสอบเป็นผ่าน (G) และไม่ผ่าน (NG) โดยใช้ข้อกำหนดตามเกณฑ์มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม โครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006 (American Welding Society) (กรมโยธาธิการ และผังเมือง) โดยกำหนดในขั้นตอนการตรวจสอบของงานเชื่อมเหล็กแชสซีที่มีความหนา 8 มม.

การตรวจสอบความสามารถของระบบการวัดของพนักงาน มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดพนักงานผู้ทำการตรวจสอบชิ้นงาน ซึ่งมีความสามารถ และมีประสบการณ์ในการคัดแยกคุณภาพของชิ้นงาน จำนวน 3 คน เพื่อทำการทดสอบ และประเมินผล

2. กำหนดจำนวนชิ้นงานตรวจสอบในกระบวนการตัดแปลงตามหลักการของ Fasser and Brettner โดยคัดเลือกชิ้นงานในกระบวนการตัดแปลง จำนวน 12 ชิ้นงาน ดังตารางที่ 6 ซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาแชสซีเสียหาย จำนวน 5 ชิ้น และชิ้นงานที่มีสภาพรอยเชื่อมสมบูรณ์อีก 7 ชิ้น โดยไม่มีลักษณะก้ำกึ่ง เนื่องจากรอยเชื่อมที่นำมาพิจารณาสามารถคัดแยกออกได้อย่างชัดเจน คือ สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์เท่านั้น

3. การทดลอง กำหนดให้พนักงานแต่ละคน ตรวจสอบชิ้นงาน โดยลำดับการตรวจสอบแบบสุ่ม (Random) ประเมินชิ้นงาน คือ ผ่าน (G) หรือไม่ผ่าน (NG) การทดลองพนักงานแต่ละคนจะตรวจสอบชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง โดยสุ่มลำดับของชิ้นงาน เพื่อไม่ให้พนักงานเกิดการจดจำชิ้นงานตัวอย่าง

4. บันทึกค่าการทดลองเพื่อใช้ในการประเมินความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบการวัดแยกแยะคุณภาพของชิ้นงาน โดยผลของการทดลองถูกบันทึกลงเอกสาร

5. วิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงาน จากการประเมินระบบการวัด โดยคำนวณค่า % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (Repeatability) ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (Accuracy) % ด้านประสิทธิภาพผลความสามารถในการวัดซ้ำ และ % ด้านประสิทธิภาพความไม่ไบอัส ดังแสดงในตารางที่ 7

6. สรุปผลจากการประเมินระบบการวัด พบว่าพนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการวัดซ้ำ และ

ความไม่ไบอัสที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่ 100% ตามบริษัทกำหนด โดยให้เป็นไปตามนโยบายที่ให้ความสำคัญด้านคุณภาพ ความแข็งแรงของสินค้าและความปลอดภัยของลูกค้า จึงไม่ต้องการให้มีข้อบกพร่องถูกส่งไปถึงลูกค้า ดังนั้นบริษัทจึงต้องทำการอบรมพนักงานตรวจสอบ โดยแนะนำวิธีการตรวจสอบตามมาตรฐาน เพื่อให้พนักงานเข้าใจและสามารถตัดสินใจได้ถูกต้อง ดังนั้นหลังจากอบรมให้กับพนักงานและตรวจสอบชิ้นงานใหม่ พบว่าพนักงานสามารถแยกชิ้นงานได้อย่างถูกต้องและมีความสามารถในการวัดซ้ำ และความไม่ไบอัสอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้

ตารางที่ 6 จำนวนชิ้นงานที่ใช้แนะนำในการประเมินผลระบบการวัด

จำนวน พนง. ตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงาน	จำนวนการตรวจสอบซ้ำ
1	24	5
2	18	4
มากกว่า/เท่ากับ 3	12	3

ตารางที่ 7 ผลการประเมินระบบการวัด

ก่อนอบรม	% รัฟฟิทีบิลิตีของพนักงานตรวจสอบ	% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ	% ด้านประสิทธิภาพด้านรัฟฟิทีบิลิตี	% ด้านประสิทธิภาพด้านไบอัส
พนง. ตรวจสอบ 1	75.00%	75.00%	50.00%	50.00%
พนง. ตรวจสอบ 2	83.33%	83.33%		
พนง. ตรวจสอบ 3	91.67%	91.67%		
หลังอบรม				
พนง. ตรวจสอบ 1	100%	100%	100%	100%
พนง. ตรวจสอบ 2	100%	100%		
พนง. ตรวจสอบ 3	100%	100%		

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหา

1. การกำหนดระดับปัจจัยการทดลอง

เมื่อพิจารณาปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่า

1. วิธีการเชื่อม (สมชาย เถาสมบัติ) ยังมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง กับงานเชื่อมโลหะอื่น ๆ อีก โดยสามารถแจกแจงได้ ดังนี้

ก. ลวดเชื่อมที่ใช้เชื่อมงาน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม. มาตรฐาน AWS A5.28 ER80S-G

ข. ทำเชื่อมที่เหมาะสมกับงาน ทำเชื่อมจะถูกกำหนดเป็นท่าแนวตั้งตามลักษณะของการเชื่อมต่อชนของโลหะ

ค. ค่าปรับแต่งกระแสไฟ

ง. ค่าแรงเคลื่อนไฟ

จ. มุมลวดเชื่อม

ฉ. ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม

2. วิธีการวัด จากการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบเพื่อคัดแยกชิ้นงานที่มีคุณภาพและข้อบกพร่องได้อย่างถูกต้อง จึงกำหนดให้อ้างอิงตามข้อกำหนดของเกณฑ์มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม โครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006

3. การปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม

4. อุปกรณ์เครื่องเชื่อม Rilon MIG 500 IGBT

5. ลวดเชื่อม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม.

มาตรฐาน AWS A5.28 ER80S-G

6. วัสดุเหล็กต่อปลายแซสซี เหล็กกรีดร้อน เกรด SAPH540 ความหนา 8 มม.

2. การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

ซึ่งหลังจากที่พิจารณาปัจจัยนำเข้าแล้วนั้น การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^{k-1} (2^{k-1} Factorial Design) 5 ปัจจัย ได้แก่ ค่ากระแสไฟ ค่าแรงเคลื่อนไฟ มุมลวดเชื่อม ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม และการปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม โดยกำหนดระดับปัจจัยนำเข้าเป็นระดับต่ำ (-1) และ

ระดับสูง (+1) ดังตารางที่ 8 เมื่อกำหนดให้ทำการทดลองแบบ 2^{5-1} Factorial Design ทำการทดลองซ้ำ (Replicate) 2 ครั้ง ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง โดยลำดับการทดลองจะเป็นลักษณะการสุ่มด้วยโปรแกรม Minitab 16 ดังที่แสดงในตารางที่ 9

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ ตามรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ดังรูปที่ 4 พบว่ากระแสไฟและความเร็วในการเดินลวดเชื่อม กราฟมีลักษณะชันขึ้น ซึ่งหมายความว่า เมื่อค่ากระแสไฟ 230 แอมแปร์ และความเร็วในการเดินลวดเชื่อม 40 ซม./นาที ตามลำดับส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องของงานเชื่อมน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ปัจจัยแรงเคลื่อนไฟ กราฟมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า เมื่อค่าแรงเคลื่อนไฟ 26 โวลต์ ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องของงานเชื่อมน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ และปัจจัยมุมลวดเชื่อม และการปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม กราฟมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง หมายถึงการปรับค่าของทั้งสองปัจจัยจะเป็นค่าระดับสูงหรือต่ำจะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมากนัก ดังนั้นมุมลวดเชื่อมและการปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมดังรูปที่ 5 พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟและแรงเคลื่อนไฟ มีผลกระทบต่อข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญชัดเจน คือเมื่อปรับค่ากระแสไฟต่ำและแรงเคลื่อนไฟต่ำ จะส่งผลให้ข้อบกพร่องของงานเชื่อมอยู่ในระดับลดลง

ตารางที่ 8 ระดับปัจจัยที่ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย	
			ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
1	กระแสไฟ (แอมแปร์)	A	230	260
2	แรงเคลื่อนไฟ (โวลต์)	B	24	26
3	มุมลวดเชื่อม (องศา)	C	15	30
4	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม (ซม./นาที)	D	40	50
5	การปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม	E	ไม่กำหนด	กำหนดการปฏิบัติ

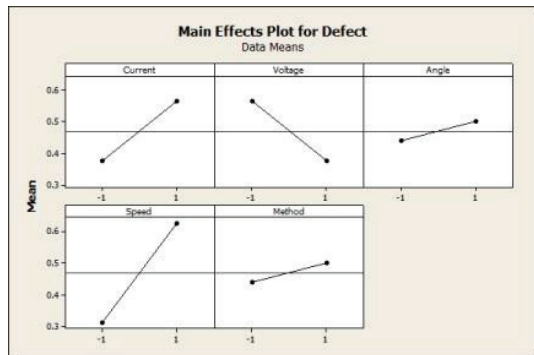
Factorial Fit: Defect versus Current, Voltage, Angle, Speed, Method

Estimated Effects and Coefficients for Defect (coded units)

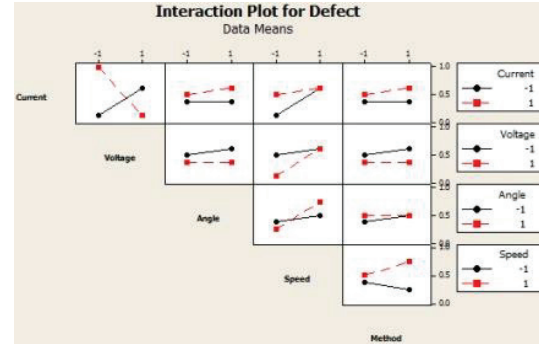
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.4687	0.05413	8.66	0.000
Current	0.1875	0.0937	0.05413	1.73	0.102
Voltage	-0.1875	-0.0937	0.05413	-1.73	0.102
Angle	0.0625	0.0312	0.05413	0.58	0.572
Speed	0.3125	0.1563	0.05413	2.89	0.011
Method	0.0625	0.0312	0.05413	0.58	0.572
Current*Voltage	-0.6875	-0.3437	0.05413	-6.35	0.000
Current*Angle	0.0625	0.0313	0.05413	0.58	0.572
Current*Speed	-0.1875	-0.0938	0.05413	-1.73	0.102
Current*Method	0.0625	0.0313	0.05413	0.58	0.572
Voltage*Angle	-0.0625	-0.0312	0.05413	-0.58	0.572
Voltage*Speed	0.1875	0.0937	0.05413	1.73	0.102
Voltage*Method	-0.0625	-0.0312	0.05413	-0.58	0.572
Angle*Speed	0.1875	0.0938	0.05413	1.73	0.102
Angle*Method	-0.0625	-0.0312	0.05413	-0.58	0.572
Speed*Method	0.1875	0.0938	0.05413	1.73	0.102

S = 0.306186 PRESS = 6
R-Sq = 81.18% R-Sq(pred) = 24.71% R-Sq(adj) = 63.53%

รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองของข้อบกพร่อง



รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักของการเกิดข้อบกพร่องประเภทแซตซีเสี่ยหาย



รูปที่ 5 การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมของการเกิดข้อบกพร่องประเภทแซตซีเสี่ยหาย

3. การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลนั้น แสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่อง ประกอบด้วยปัจจัย กระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟ และความเร็วในการเดินลวดเชื่อม ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าความเหมาะสมของปัจจัย

ตารางที่ 9 ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียล 5 ปัจจัย

ลำดับการทดลอง	ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลอง	ลุ่ม	A (Amp)	V (Volt)	C (Degree)	D (cm./min)	E	ข้อบกพร่องบนชิ้นงาน
1	16	-1	-1	-1	1	-1	ไม่มี		
2	21	-1	1	1	-1	1	ไม่มี		
3	29	-1	-1	1	1	1	มี		
4	15	-1	1	-1	1	1	มี		
5	8	-1	1	-1	1	1	มี		
6	11	1	1	1	-1	-1	ไม่มี		
7	18	-1	1	1	-1	1	ไม่มี		
8	32	-1	-1	-1	-1	1	ไม่มี		
9	31	-1	-1	1	-1	-1	ไม่มี		
10	22	-1	1	1	1	-1	มี		

ตารางที่ 9 (ต่อ) ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียล 5 ปัจจัย

ลำดับการทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการทดลอง สุ่ม	A (Amp)	V (Volt)	C (Degree)	D (cm./min)	E	ข้อบกพร่อง บนชิ้นงาน
11	10	-1	-1	1	-1	-1	ไม่มี
12	30	-1	-1	-1	-1	1	ไม่มี
13	23	-1	-1	1	1	1	ไม่มี
14	25	1	1	1	1	1	ไม่มี
15	4	1	-1	-1	-1	-1	มี
16	9	1	-1	1	1	-1	มี
17	17	-1	1	-1	-1	-1	ไม่มี
18	2	1	1	-1	1	-1	ไม่มี
19	27	-1	-1	-1	1	-1	ไม่มี
20	5	1	-1	1	-1	1	มี
21	14	-1	1	1	1	-1	มี
22	19	1	1	1	-1	-1	ไม่มี
23	28	1	-1	-1	1	1	มี
24	3	1	1	-1	-1	1	ไม่มี
25	26	-1	1	-1	-1	-1	มี
26	13	1	1	-1	-1	1	ไม่มี
27	20	1	-1	1	1	-1	มี
28	24	1	1	1	1	1	มี
29	1	1	-1	-1	1	1	มี
30	7	1	1	-1	1	-1	ไม่มี
31	6	1	-1	1	-1	1	มี
32	12	1	-1	-1	-1	-1	มี

ตารางที่ 10 ระดับปัจจัยที่ทำการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย		
			ระดับต่ำ (-1)	ระดับ กลาง (0)	ระดับสูง (+1)
1	กระแสไฟ (แอมแปร์)	A	230	240	260
2	แรงเคลื่อนไฟ (โวลต์)	B	24	25	26
3	ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม (ชม./นาที)	D	40	45	50

โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนห์เคน ด้วยปัจจัย 3 ปัจจัย และแบ่งปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (-1) กลาง (0) และสูง (+1) ดังตารางที่ 10 ปัจจัยมุมลวดเชื่อมกำหนดค่า 15 องศา และกำหนดให้ปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม โดยควบคุมค่าให้คงที่ การออกแบบการทดลองจะมีทั้งหมด 15 การทดลอง และใช้ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงานต่อ การทดลอง ดังนั้นจะมีการทดลองทั้งหมด 75 ครั้ง โดยลำดับการทดลองจะเป็นลักษณะการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completed Randomization) โดยโปรแกรม Minitab

4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้จะถูกทำการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นที่ผิวสะท้อน (Response Surface Regression) ดังแสดงในรูปที่ 6 เมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของคุณภาพข้อมูลที่เก็บบันทึกมา พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 98.55% มีค่ามากกว่า 80% นั้น หมายถึง ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) สามารถใช้อธิบายความผันแปรของค่าตอบสนองได้อย่างเหมาะสม ดังนั้นสมการถดถอย (Regression Equation) จะมีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะใช้ทำนายจำนวนของเสียได้

Response Surface Regression: Defect versus A, B, D

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Defect

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1123.81	140.123	8.020	0.000
A	-1.32	0.455	-2.907	0.034
B	-84.67	8.742	-9.686	0.000
D	5.12	1.115	4.589	0.006
A*A	0.00	0.001	3.038	0.029
B*B	1.50	0.165	9.115	0.000
D*D	-0.02	0.007	-3.038	0.029
A*B	0.03	0.011	3.162	0.025
A*D	-0.01	0.002	-6.325	0.001
B*D	0.00	0.032	0.000	1.000

S = 0.316228 PRESS = 8
R-Sq = 98.55% R-Sq(pred) = 76.74% R-Sq(adj) = 95.93%

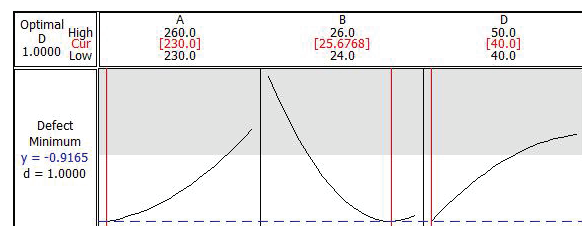
รูปที่ 6 การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อนของ การทดลองแบบบ็อกซ์-เบนห์เคน

5. การวิเคราะห์หาค่าความเหมาะสมของปัจจัย

จากสมการถดถอยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย ที่มีนัยสำคัญ และจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่อง ประเภทเศษชีเสี่ยหาย ดังแสดงในสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{Defect} = & 1123.81 - 1.32(\text{Current}) \\ & - 84.67(\text{Voltage}) \\ & + 1.50(\text{Voltage} * \text{Voltage}) \\ & - 0.02(\text{Speed} * \text{Speed}) \\ & + 0.03(\text{Current} * \text{Voltage}) \\ & - 0.01(\text{Current} * \text{Speed}) \quad (1) \end{aligned}$$

เมื่อทำการวิเคราะห์สมการถดถอย เพื่อหาค่าความเหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยใช้หลักการ Response Optimization ของโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยจากการคำนวณในการทดลองนี้ คือ กระแสไฟเท่ากับ 230 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟเท่ากับ 25.6768 หรือ 26 โวลต์ และ ความเร็วในการเดินลวดเชื่อมเท่ากับ 40 ซม./นาที โดยทำให้ค่าทำนายจำนวนของเสียเกิดขึ้น เท่ากับ -0.9165 ซึ่งภาพรวมของผลตอบสนอง (Composite Desirability: D) มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบสนองได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 7 Response Optimization ค่าที่เหมาะสม ของแต่ละปัจจัย

3.4 การปรับปรุงกระบวนการ

จากค่าปัจจัยที่คำนวณได้จากหลักการ Response Optimization ทางผู้วิจัยนำเอาค่าแต่ละปัจจัยและวิธีการ มาทำการทดลองในกระบวนการตัดแปรงรถบรรทุกของ บริษัทกรมศึกษาในสำนักงานเชื่อมโลหะ โดยกำหนดการ

ปรับค่าและวิธีการปฏิบัติ และทำการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนการปรับปรุง ดังในตารางที่ 11

หลังจากที่ทำการทดลองโดยใช้ค่าปัจจัยนำเข้าที่กำหนดและเก็บข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายก่อนและหลังการปรับปรุง โดยข้อมูลที่น่ามาเปรียบเทียบจะแสดงในตารางที่ 12

จากการทดลองโดยการปรับปรุงและควบคุมปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อมที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย

ด้วยชิ้นงานตัวอย่าง 25 ชิ้นงาน และเกิดชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องที่คุณภาพไม่ผ่านการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ ทั้งหมด 2 ชิ้นงาน โดยคิดเป็นสัดส่วนข้อบกพร่อง 0.08% ดังนั้นสรุปได้ว่าการปรับปรุงปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยสามารถลดปริมาณการเกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลงได้ โดยจากข้อมูลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงจะเห็นว่าสัดส่วนข้อบกพร่องก่อนปรับปรุงคิดเป็น 0.72% และหลังปรับปรุง 0.08% ลดลง 0.64%

ตารางที่ 11 ค่าปัจจัยการปรับปรุงกระบวนการในการทดลอง

ปัจจัย	ค่าปัจจุบัน	ค่าปรับปรุง
กระแสไฟ (แอมแปร์)	200	230
แรงเคลื่อนไฟ (โวลต์)	30	26
มุมลวดเชื่อม (องศา)	30	15
ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม (ชม.นาที)	60	40
การปฏิบัติตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม	ไม่มีข้อกำหนดข้อกำหนด	<ol style="list-style-type: none"> 1. ตรวจสอบสภาพความสามารถการทำงานของพนักงาน 2. ตรวจสอบวัสดุเหล็กแซสซีเกรด SPH540 ความหนา 8 มม. 3. ตรวจสอบคุณภาพ และสภาพของอุปกรณ์ในการเชื่อมให้พร้อมใช้งาน 4. ตรวจสอบสภาพแวดล้อมการทำงาน 5. ตรวจสอบความสะอาดผิววัสดุก่อนงานเชื่อม 6. ตรวจสอบแนวการวางของชิ้นส่วน 7. ตรวจสอบขอบรอยต่องานเชื่อม 8. ตรวจสอบค่าปรับตั้งก่อนงานเชื่อม

ตารางที่ 12 ข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

กระบวนการ	จำนวนการผลิต	จำนวนชิ้นงานที่มีข้อบกพร่อง	สัดส่วนข้อบกพร่อง
ก่อนการปรับปรุง	25	18	0.72
หลังการปรับปรุง	25	2	0.08

3.5 การติดตาม และควบคุม

หลังจากที่ทำการทดลองเพื่อยืนยันค่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ใช้ปรับปรุงกระบวนการคัดแปรงรถบรรทุกของ บริษัทกรมศึกษาในส่วนงานเชื่อม โลหะ ซึ่งผลการทดลอง ปัจจัยดังกล่าวสามารถลดปริมาณชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องลงได้ ดังนั้นผู้วิจัยต้องการควบคุมปัจจัยให้อยู่ภายใต้ การควบคุมหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการ โดยจัด ประชุมทีมงานและผู้เชี่ยวชาญ เพื่อเขียนวิธีการปฏิบัติงาน รายละเอียดเพื่อควบคุมกระบวนการแสดงในตารางที่ 13

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเอาหลักการซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ และกระบวนการ ใน ส่วน งาน เชื่อม ของ งาน คัด แปรง รถ บรรทุก โดยดำเนินการตามขั้นตอน 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย ขั้นตอนการกำหนดปัญหา รวบรวมข้อมูลข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากการแจ้งข้อร้องเรียนของลูกค้า โดยจะเห็นว่า ข้อบกพร่องประเภทแซสซีเลียหายเกิดข้อบกพร่องโดยคิด เป็น 15.83% ของข้อบกพร่องทั้งหมด ซึ่งเมื่อพิจารณาใน ส่วนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมข้อบกพร่องคิดเป็น 86.32% ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมของเสียทั้งหมด ผู้วิจัยจึงกำหนดเป็นเป้าหมายในการลดสัดส่วน

ข้อบกพร่องประเภทแซสซีเลียหาย ขึ้นตอนวัดเก็บข้อมูล ระดมสมองของทีมงานเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องมากที่สุด โดยใช้แผนภาพเหตุและผล และทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัดของ พนักงานเพื่อการตัดสินใจแยกแยะข้อบกพร่องได้ถูกต้อง ขึ้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา โดยทำการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียล 5 ปัจจัย เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ และการทดลอง แบบบล็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อคำนวณค่าปัจจัยที่เหมาะสม ขึ้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ ดำเนินการควบคุม กระบวนการโดยการกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลองมาใช้ปรับปรุงกระบวนการ คือ กระแสไฟ 230 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟ 26 โวลต์ มุมลวดเชื่อม 15 องศา ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม 40 ซม./นาที และการปฏิบัติ ตามข้อกำหนดก่อนงานเชื่อม และขั้นตอนติดตามและ ควบคุม จากสัดส่วนข้อบกพร่องประเภทแซสซีเลียหาย หลังการปรับปรุงสามารถลดลงจาก 0.23% ลงมา เหลือ 0.08% จึงจัดทำเอกสารกำหนดวิธีการปฏิบัติงาน และแผนควบคุมคุณภาพ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานและ ตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมของพนักงาน

ตารางที่ 13 แผนการปฏิบัติงานเพื่อการปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	ส่วนประกอบของกระบวนการ	ความถี่	ผู้รับผิดชอบ
การฝึกอบรม	การฝึกอบรมสำหรับพนักงานใหม่	ทุกครั้งที่มีการจ้างงานใหม่	หัวหน้าฝ่ายบุคคล
	การอบรมระบบการทำงานสำหรับพนักงาน	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายบุคคล
	การอบรมวิธีการเชื่อมโลหะ	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายผลิต
	การอบรมขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายควบคุม คุณภาพ
	การประเมินทักษะการทำงาน	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายบุคคล
การตรวจสอบ ชิ้นงาน	การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานก่อนงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงาน
	การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานระหว่างงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงาน
	การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานหลังงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงาน
การควบคุม คุณภาพ	ขั้นตอนการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงาน
	การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโยธาธิการ และผังเมือง. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อม โครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย. พิมพ์ครั้งที่ 1, 2551.
- [2] เชิดเชลง ชิตชวนกิจ และคณะ. วิศวกรรมการเชื่อม. สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, 2524
- [3] เคย์ ยี่งชล. การประยุกต์ใช้เทคนิคคิวเอฟดี เพื่อปรับปรุงคุณภาพของงานบริการในฝ่ายขายของบริษัทจัดจำหน่ายรถบรรทุก. วิทยานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] ชีระพงษ์ สำราญ. การลดของเสียของเหล็กหล่อเหนียวประเภทขนาดผิกรูปร่างและทรายตกในโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. วิทยานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] ประภัสสรธรรม สวัสดิ์วงษ์. การวิเคราะห์ระบบการวัดในโรงงานผลิตกล่องและซุ้มเลนส์. วิทยานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.
- [6] พิศาล เพลินภูเขียว. การลดปริมาณของเสีย และงานซ่อมแซมในกระบวนการผลิตโคมสำหรับเบาะรถยนต์โดยแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.
- [7] สมชัย เกาสมบัติ. เทคโนโลยี การเชื่อมและการประสาน. สำนักพิมพ์ ยูไนเต็ทบุ๊กส์, 2529.
- [8] อนุชา กิจสุทธิพงษ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการเชื่อมโครงเบาะรถยนต์. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 2555; 23(1).
- [9] อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- [10] Fasser, Y. and Brettner, D. *Process Improvement in Electronics Industry*. John Wiley & Sons Inc., New York, 1992.