

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในโรงงานผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

Increasing Production Efficiency in Manufacturing of Fire Tube Boiler.

องอาจ รัตนกระจำง^{1*}, สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร¹ และ นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร¹

Ong-art Rattanakrajang^{1*}, Somkiat Jongprasithporn¹ and Nantakrit Yodpijit¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิต โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ (Fire Tube Boiler) ในโรงงานผลิตหม้อไอน้ำ เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) ที่ใช้ได้แก่ ใบตรวจสอบใช้ในการรวบรวมข้อมูล แสดงผลด้วยกราฟ แผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับปัญหาเหล่านั้นจากมากไปหาน้อย และแผนภาพก้างปลา ในการค้นหาสาเหตุและหาทางแก้ไขปัญหา จากการศึกษาพบ ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเกิดจากความ ความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม (Welding Defect) เมื่อนำประเภทของความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม มาวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิพาเรโต ผลจากการวิเคราะห์พบว่า ปัญหาเกิดจาก ฟองอากาศ รอยเชื่อมไม่ประสาน และ การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหานั้นที่เสียหายน้อยที่สุดก่อนตามลำดับ คือ ฟองอากาศ รอยเชื่อมไม่ประสาน และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ ปัจจัยที่ส่งผล คือ ขั้นตอนการปฏิบัติงานเชื่อมตามข้อกำหนด การควบคุมปรับตั้ง พารามิเตอร์การเชื่อม ผู้วิจัยทำการทดลองแบบ 3³ แฟกทอเรียล ในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมและทำการตรวจสอบระหว่างการเชื่อม ผลการดำเนินการแก้ปัญหาดังกล่าวพบว่า จากเดิมปัญหา ฟองอากาศมีจำนวนของเสีย 177 พิล์ม ลดลงเหลือ 104 พิล์ม คิดเป็นร้อยละ 41 รอยเชื่อมไม่ประสานมีจำนวนของเสีย 92 พิล์ม ลดลงเหลือ 72 พิล์มคิดเป็นร้อยละ 22 และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์มีจำนวนของเสีย 69 พิล์ม ลดลงเหลือ 63 พิล์ม คิดเป็นร้อยละ 9

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด แผนแบบแฟกทอเรียล การเพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

This research has the objective to increase the efficiency of production. The researcher studied the production process of a Fire Tube Boiler in a boiler factory. collect data and analyze data Using 7 quality control tools (7 QC Tools) used include. Check sheets used to collect data. Show results with graphs The Pareto chart sorts those problems from highest to lowest. and fishbone diagram to find the cause and find solutions to the problems from the study found Waste generated in the production process is caused by Imperfection of the weld (Welding Defect) when using the type of imperfection of the weld. Let's analyze using the Pareto charts. The results of the analysis revealed that it was caused by porosity, lack of fusion, and incomplete fusion. Therefore, the researcher has made improvements to improve the most defect problems first, namely, porosity, lack of fusion, and incomplete fusion. Factors affecting the welding procedures according to the requirements to adjust the parameters of welding, the researcher designed a 3³ Factorial design to determine the optimized factor level. and perform inspection during welding process. The results of the solution were found from the original problem. The amount of porosity with

* Corresponding author: e-mail ongartr@gmail.com

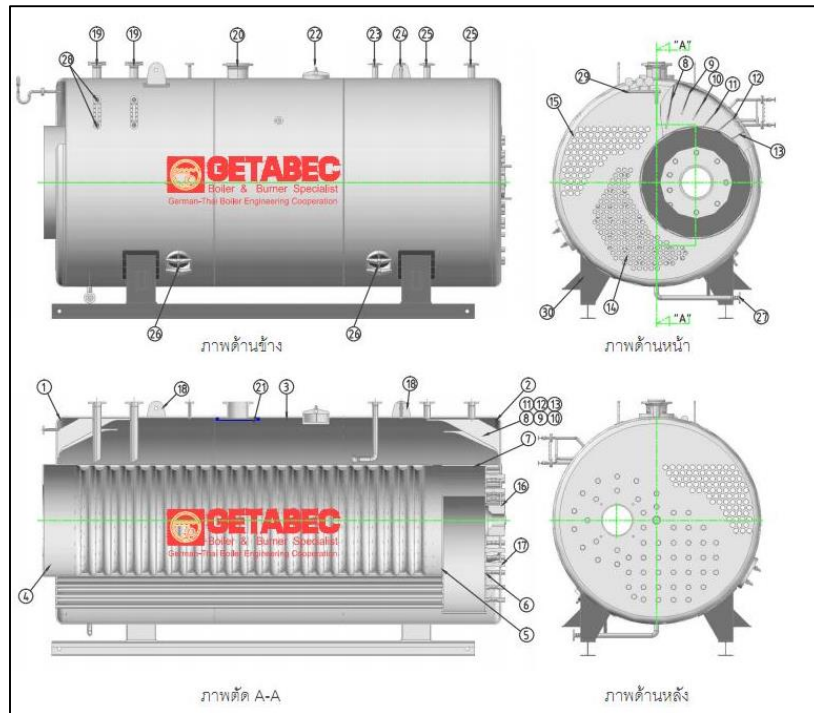
waste of 177 films was reduced to 104 films accounted for 41%, Lack of fusion waste of 92 films reduced to 72 films accounted for 22% And incomplete fusion the amount of waste 69 films reduced to 63 films, accounted for 9%

Keywords: Production Process of Fire Tube Boiler, 7 Quality Control Tools, Factorial Experiments, Increasing Productivity

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการแข่งขันทางธุรกิจที่รุนแรง ทั้งการแข่งขันทางการตลาด ทำให้ธุรกิจอุตสาหกรรมต่างๆ หันมาสนใจต่อการบริหารต้นทุนการผลิต เพื่อให้ระบบการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ผู้ประกอบการจึงแสวงหาวิธีการลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้ต่ำกว่าคู่แข่งให้มากที่สุด การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุน จึงเป็นปัจจัยสำคัญมากในการอยู่รอดของระบบธุรกิจอุตสาหกรรมปัจจุบัน จากการศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงานผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟเป็นกระบวนการผลิตตามคำสั่งซื้อ จึงทำให้เกิดความไม่แน่นอนในระบบการผลิต ไม่เป็นไปตามแผนการผลิตที่กำหนดไว้ สภาพปัญหาปัจจุบันมีปริมาณงานสูงกว่ากำลังการผลิต ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ทั้งสภาพพื้นที่ ทรัพยากรบุคคล เครื่องมือเครื่องจักรไม่สอดคล้องกับปริมาณงาน เป็นผลทำให้ต้องเร่งการผลิตและเกิดความผิดพลาดในการทำงาน ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ มีการแก้ไขงานทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ต้นทุนการผลิตสูงกว่าประมาณการต้นทุน ทั้งนี้พบว่าของเสียส่วนมากที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมาจากงานเชื่อมเป็นหลักโดยเกิดจุดบกพร่องต่างๆของแนวเชื่อม “Defect” หรือ “Discontinuity” สภาพรอยเชื่อมที่ใช้ไม่ได้ หรือจำเป็นที่จะต้องทำการแก้ไขแนวเชื่อม (Welding Repair) และตรวจสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานการยอมรับก่อน ซึ่งไม่สามารถผลิตในกระบวนการถัดไปได้ ผลการตรวจสอบแนวเชื่อมของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟโดยวิธีการถ่ายภาพด้วยรังสี RT (Radiographic Testing) บนชิ้นส่วนเปลือกหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ และท่อไฟใหญ่ ซึ่งเป็นแนวเชื่อมแบบ ตะเข็บตรง (Longitudinal welded) และแนวเชื่อมแบบตะเข็บขวาง (Circumferential weld) จุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในเนื้อเชื่อม พบว่า ปริมาณจำนวนฟิล์ม Defect สูงมาก ซึ่งปัญหาความบกพร่องของแนวเชื่อม ที่พบมากที่สุด ได้แก่ ปัญหาฟองอากาศ ปัญหารอยเชื่อมไม่ประสาน และ ปัญหาการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

อนึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาจะเป็นแนวทางศึกษาการแก้ปัญหากระบวนการเชื่อมโลหะในอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งมีความหลากหลาย โดยจากการศึกษาข้อมูลในอดีตของโรงงานกรณีศึกษาก็มีการปรับตั้งค่าของเครื่องเชื่อมที่ไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ จากสภาพปัญหาที่มีของเสียปริมาณค่อนข้างสูงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต มาจากแนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งมาจากกระบวนการงานเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding; SAW) มากที่สุด กระทรวงอุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรม โดยแบ่งการพิจารณาระดับคุณภาพรอยเชื่อมตามสภาพของความไม่สมบูรณ์ที่เกิดขึ้นบนรอยต่องานเชื่อมหลอมละลายในเหล็กกล้าทุกชนิด (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ.2559, 2559) กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553) กล่าวถึงส่วนประกอบของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟว่าประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสามส่วน ได้แก่ เปลือกหม้อไอน้ำ ฝาหน้าหลัง ท่อไฟเล็กและท่อไฟใหญ่ ลักษณะโครงสร้างดังนี้



ภาพที่ 1 ตัวอย่างรายละเอียดโครงสร้างของหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ

รายละเอียดชิ้นส่วนโครงสร้างหม้อไอน้ำ

- | | | |
|-----------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1.ฝาหน้า | 15.ท่อไฟเล็กกลับที่สาม | 24.หน้าแปลนช่องระบายไอ |
| 2.ฝาหลัง | 16.ช่องดูไฟ | 25.หน้าแปลนยึดล้นนิรภัย |
| 3.เปลือกหม้อน้ำ | 17.เพลายึดโยง | 26.ช่องคนส่องตรวจสอบ |
| 4.ท่อไฟใหญ่ (ลูกหมู) กลับที่หนึ่ง | 18.หุยก | 27.หน้าแปลนท่อระบาย |
| 5.ผนังหน้าห้องไฟกลับ | 19.หน้าแปลนยึดยึดโครต | 28.หน้าแปลนยึดแท่งแก้วดูระดับน้ำ |
| 6.ผนังหลังห้องไฟกลับ | 20.หน้าแปลนช่องจ่ายไอน้ำ | 29.หน้าแปลนชุดควบคุม |
| 7.เปลือกห้องไฟกลับ | 21.อุปกรณ์แยกน้ำจากไอน้ำ | 30.แท่นเครื่อง |
| 8-13. แผ่นเหล็กยึดโยง | 22.หน้าแปลนช่องคนลง | |
| 14.ท่อไฟเล็กกลับที่สอง | 23.หน้าแปลนท่อน้ำเข้า | |

การเชื่อม (Welding) คือ กระบวนการประกอบหรือต่อวัสดุเข้าด้วยกันไม่ว่าจะเป็นการต่อโลหะหรือโลหะ โดยการเชื่อมต่อกันนั้นมีหลักการคือให้ความร้อนแก่รอยต่อของวัสดุชิ้นงานทั้งสองชิ้นให้ถึงอุณหภูมิหลอมละลาย จนกระทั่งรอยต่อของงานทั้งสองชิ้นหลอมเป็นเนื้อวัสดุหลอมเหลว และใช้วัสดุเติม (Filler Material) เติมลงไปในการเชื่อมที่หลอมเหลวนั้นหรืออาจเป็นการหลอมวัสดุสองชิ้นให้ติดเข้าด้วยกัน โดยไม่ใช้วัสดุเติมก็ได้ (คิว เวลด์ดิ้ง อินสเป็คชั่น แอนด์ คอนซัลติง, 2556) การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Nondestructive Testing) เป็นการทดสอบความสมบูรณ์ของแนวเชื่อมเพื่อหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในเนื้อเชื่อม โดยไม่ทำลายแนวเชื่อมนั้น ๆ และยังคงใช้งานต่อไปได้อย่างปลอดภัย เพื่อให้แนวเชื่อมนั้นรับแรงได้ตามการออกแบบของแนวเชื่อมนั้นๆ (Conformance to Design) (ไทย เอ็น ดี ที, 2559) และเพื่อหาร่องรอยบกพร่องของชิ้นงาน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับกับมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ เช่น โครงสร้างเหล็ก ส่วนประกอบของเหล็ก ภาชนะรับแรงดัน ท่อขนส่งก๊าซ โดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่มี

หลักการทางวิทยาศาสตร์โดยเฉพาะด้านฟิสิกส์ (Physic) สารกัมมันตภาพรังสี X หรือ Gamma สนามแม่เหล็ก คลื่นเสียงและเคมี ฯลฯ (วันเฉลิม วรรณสถิตย์, 2559)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด นับได้ว่าเป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือเหล่านี้เป็นการรวบรวมและประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ การใช้หลักการทางด้านเหตุผล และศาสตร์ความรู้ในด้านต่าง ๆ มารวบรวม และเลือกใช้ในการจัดการกับปัญหาแต่ละชนิด (ศุภพัฒน์ ปิงตา, 2557) ได้ให้ความหมายไว้ว่า เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตทำงานต่างๆ ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหาการคัดเลือก หรือลำดับความสำคัญของปัญหาการสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหา และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงเพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้อง เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ชนิด มีดังต่อไปนี้ กราฟ (Graph) แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) ผังพาเรโต (Pareto Diagram) ผังเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ผังการกระจาย (Scatter Diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต (Productivity Improve Technique) (ชนาภา หันจางสิทธิ์, 2560) การเพิ่มผลผลิตนั้น เริ่มต้นจากการที่ เฟรดเดอริก ดับบลิว เทเลอร์ ได้นำแนวคิดตามหลักวิทยาศาสตร์มาใช้ในการบริหารช่วงปี ค.ศ. 1911 (พ.ศ. 2454) โดยเริ่มศึกษาและหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิต อันเนื่องมาจากปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน ซึ่งเป็นผลมาจากวิธีการจัดการที่ยังมีข้อบกพร่องทั้งในด้านความรับผิดชอบของพนักงาน มาตรฐานการปฏิบัติงาน นโยบายของผู้บริหารซึ่งอยู่ในสภาพการณ์ที่ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน (ผนทิพย์ จรจันทร์, 2553) การปรับปรุงและพัฒนากระบวนการบริหารจัดการ และระบบการทำงาน โดยนำเครื่องมือการบริหารจัดการ และการเพิ่มผลผลิตต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ สำหรับแนวทางที่สำคัญประการหนึ่งในส่วนของการผลิต คือ การลดของเสีย โดยเทคนิควิธีการของซิกส์ ซิกมา (Six Sigma) ที่ช่วยลดความผันแปรของกระบวนการผลิต โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ

จากการศึกษาวิจัยในหน่วยการผลิต แผนก E-Type Frontline กระบวนการเชื่อม ของบริษัท ไทยอาซาฮีเด็นกิ จำกัด พบว่าวิธีการของซิกส์ ซิกมา และทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง สามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งปริมาณของเสียที่พบก่อนการปรับปรุงแก้ไขมีจำนวน 2,565 ชิ้นต่อสัปดาห์ และปริมาณของเสียที่พบหลังการปรับปรุงมีจำนวน 1,558 ชิ้นต่อสัปดาห์

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบวนการผลิตในโรงงานผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด ช่วยให้สามารถค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาได้อย่างเป็นระบบ และได้นำวิธีการออกแบบการทดลองสถิติ 3^3 แผนแบบแฟกทอเรียล ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆของกระบวนการเชื่อมได้ผลลัพธ์ มากำหนดมาตรฐานในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเชื่อม ผู้ปฏิบัติงานสามารถปรับปรุงแก้ไขกระบวนการทำงาน ได้อย่างตรงจุดและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ลดปริมาณของเสียให้น้อยลง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและปัญหาของเสียจากกระบวนการเชื่อม จุดบกพร่องในงานเชื่อม เพื่อปรับปรุงและลดของเสียจากงานเชื่อม

2.2 ศึกษากระบวนการและปรับปรุง กระบวนการผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ให้ส่งสินค้าทันตามความต้องการของลูกค้า

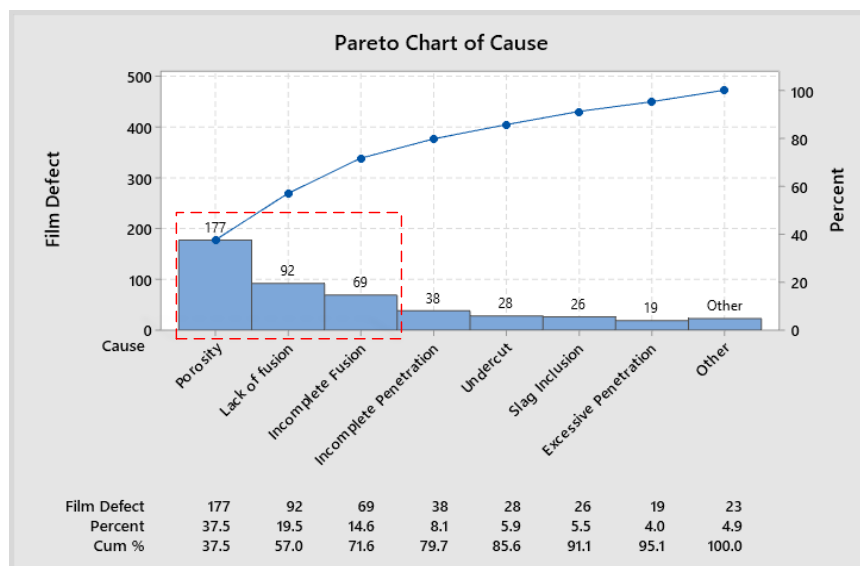
3. วิธีดำเนินงาน

รวบรวมข้อมูลบันทึกข้อมูลด้วยใบตรวจสอบคุณภาพ ความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม 2564 การทดสอบโดยใช้วิธีการถ่ายภาพรังสี นับจากจำนวนฟิล์มรวมทั้งหมด 2,556 ฟิล์ม พบจำนวนฟิล์มเสีย แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ เท่ากับ 472 ฟิล์ม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนประเภทของจุดบกพร่องในแนวเชื่อม

ลำดับที่	สาเหตุ	ของเสีย (ฟิล์ม)	ฟิล์มเสีย (ร้อยละ)	ฟิล์มเสียสะสม (ร้อยละ)
1	ฟองอากาศ (Porosity)	177	37.50	37.50
2	รอยเชื่อมไม่ประสาน (Lack of Fusion)	92	19.49	56.99
3	การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	69	14.62	71.61
4	รอยต่อไม่หลอมละลาย (Incomplete Penetration)	38	8.05	79.66
5	รอยกัดแหง (Undercut)	28	5.93	85.59
6	สารมลทินฝังใน (Slag Inclusion)	26	5.51	91.10
7	การซึมลึกมากเกินไป (Excessive Penetration)	19	4.03	95.13
8	รูหนอน (Worm Holes)	7	1.48	96.61
9	โพรงแนวยาว (Elongated Indication)	6	1.27	97.88
10	ฟลักซ์ฝังใน (Flux Inclusion)	6	1.27	99.15
11	รอยแตก (Crack)	3	0.64	99.80
12	ความเว้าที่ราก (Root Concavity)	1	0.21	100.00
ทดสอบรวม 2,556 ฟิล์ม		472	100	

ข้อมูลจากโรงงานผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ ของเสีย (ฟิล์ม) พ.ศ.2564 ใช้แผนภูมิพาเรโต ในการจัดลำดับประเภทปัญหาของจุดบกพร่องที่เกิดในแนวเชื่อม ดังภาพที่ 2 เลือกประเภทจุดบกพร่องที่พบมากที่สุด 3 ลำดับแรกเพื่อนำมาวิเคราะห์แก้ปัญหาได้แก่ ฟองอากาศ รอยเชื่อมไม่ประสาน และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ ตามหลักการพาเรโตทำน้อยได้มาก 80:20



ภาพที่ 2 แผนภูมิพาเรโตแสดงการวิเคราะห์คัดเลือกสาเหตุ

หลังจากรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์บกพร่องจากระบบและทำการหาสาเหตุสำคัญโดยใช้แผนภูมิพาเรโต และวิเคราะห์จากผังแสดงเหตุและผล หรือผังก้างปลา ทำการระดมความคิด (Brainstorm) จากผู้มีประสบการณ์และเชี่ยวชาญแผนกต่าง ๆ ประชุมร่วมกันกับผู้ปฏิบัติงาน วิศวกรควบคุมงาน วิศวกรงานเชื่อม วิศวกรควบคุมคุณภาพ เพื่อช่วยกันนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 3 ปัญหาหลัก และปรับปรุงการปฏิบัติงาน ดังนี้

ปัญหาที่ 1 ฟองอากาศ เป็นข้อบกพร่องในแนวเชื่อมสูงสุดที่พบ สาเหตุของข้อบกพร่องประเภทนี้เกิดจากความชื้นของฟลักซ์ ซึ่งกลายเป็นการระเบิดของไอน้ำขนาดเล็ก หรือแม้แต่ปฏิกิริยาของก๊าซที่ตกค้างในเหล็กที่เกิดขึ้น ระหว่างกระบวนการเชื่อม การเตรียมผิวชิ้นงานไม่สะอาด มีการใช้พัสดุขณะเชื่อม

แนวทางแก้ไข

1. เตรียมแนวต่อชิ้นงานต้องทำความสะอาดขจัดคราบสนิม คราบน้ำมัน
2. อบผงฟลักซ์ไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส
3. จะต้องทำการอุ่น (Preheat) ชิ้นงาน อย่างน้อย 30 องศาเซลเซียสก่อนเชื่อม
4. ปรับตั้งกระแสไฟตามพารามิเตอร์ที่กำหนดใน เอกสารข้อกำหนดขั้นตอนการเชื่อม WPS (Welding Procedure Specification)

ปัญหาที่ 2 รอยเชื่อมไม่ประสาน เป็นข้อบกพร่องในแนวเชื่อมที่พบมากเป็นอันดับสองเหตุปัจจัยมาจาก เกิดการหลอมรวมระหว่างวัสดุเชื่อมระหว่างชิ้นของแนวเชื่อมน้อยลง การปฏิบัติงานของช่างเชื่อม ระหว่าง ขั้นตอนการเชื่อม ขาดการตรวจสอบระหว่างการเชื่อมแต่ละแนว สภาพความพร้อมเครื่องเชื่อม

แนวทางแก้ไข

1. การตรวจสอบด้วยของเหลวแทรกซึม PT (Penetrant testing) แนวเชื่อมเพื่อหาจุดบกพร่องบนผิวชิ้นงานแต่ละชิ้น
2. ทำความสะอาดบริเวณรอยเชื่อม ของผิวโลหะก่อนเริ่มการเชื่อมและระหว่างเชื่อม
3. ควบคุมกระแสไฟเชื่อมที่เหมาะสม ความเร็วในการเชื่อมคงที่
4. เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้แล้วตาม เอกสารข้อกำหนดขั้นตอนการเชื่อม จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ปัญหาที่ 3 การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ ซึ่งเป็นข้อบกพร่องในแนวเชื่อมที่พบมากเป็นอันดับสาม สาเหตุจากไม่ทำตามข้อกำหนด ซึ่งถูกนำมาใช้เพื่อค้นหาความเชื่อมโยงระหว่างข้อบกพร่องและปัจจัยต่างๆทั้งจากคน วิธีการ วัสดุ รวมถึงเครื่องเชื่อม

แนวทางแก้ไข

1. ต้องให้ความร้อนแก่ผิวชิ้นงาน หรือผิวของแนวเชื่อมเดิมถึงจุดหลอมเหลว
2. การปรับกระแสไฟเชื่อม 130 แอมป์ แรงดัน 20 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 10 เซนติเมตร/นาที
3. ก่อนเชื่อมทำการตรวจสอบด้วยสายตา VT (Visual Testing) ระหว่างการเชื่อมทำการตรวจสอบด้วยของเหลวแทรกซึม และหลังเชื่อมงานทำการทดสอบโดยใช้รังสี เป็นไปตามแผนการตรวจสอบ ITP (Inspection and Test Plan)

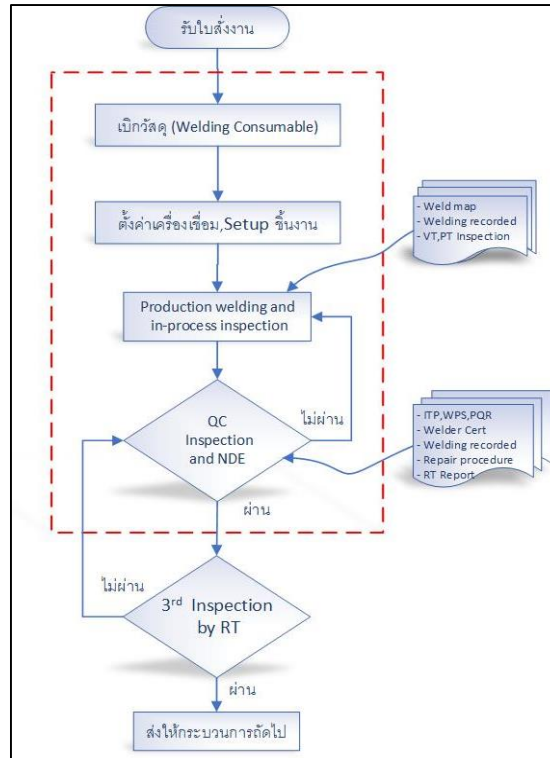
สรุปปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความบกพร่องของแนวเชื่อม (Welding Defect) และแนวทางการแก้ไข ทั้ง 3 ปัญหาหลักๆ เพื่อลดจำนวนของเสียฟิล์มที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ ทั้งนี้สาเหตุหลักๆ มาจาก ชิ้นงานไม่สะอาด เปิดพัสดุขณะเชื่อมงาน ผงฟลักซ์มีความชื้น ผู้ปฏิบัติงานการเชื่อมขาดทักษะความชำนาญ ไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนข้อกำหนดการเชื่อม การควบคุมตัวแปรการเชื่อม (Welding Parameter) รวมถึงความพร้อม เครื่องเชื่อม วัสดุ รวมถึงสภาพแวดล้อมในสถานงานเชื่อม จึงได้ดำเนินการดังนี้

1) การออกแบบการทดลอง และทำการทดลองโดยแผนแบบแฟคทอเรียล ซึ่งจะประกอบด้วยปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลองแผนแบบแฟคทอเรียล

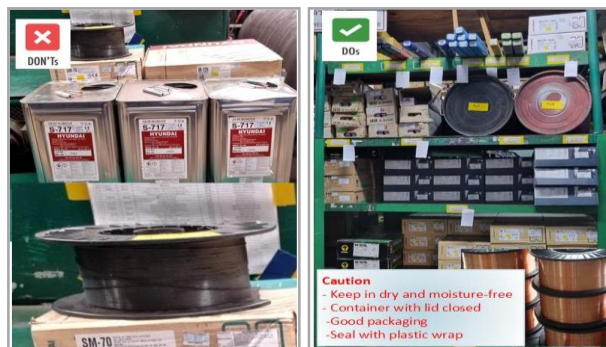
ปัจจัย	ระดับปัจจัย			ความหนาชิ้นงาน (มม.)
	ต่ำ	กลาง	สูง	
1. กระแสไฟเชื่อม (แอมป์)	400	430	450	16
2. แรงดันอาร์ก (โวลต์)	20	30	40	16
3. ความเร็วในการเชื่อม (ชม./นาที)	15	25	35	16

2) การปรับปรุงขั้นตอนปฏิบัติงานเชื่อม กระบวนการตรวจสอบ การตรวจสอบก่อนการเชื่อม การเตรียมแนว การตรวจสอบบันทึกเงื่อนไขต่างๆ ขณะเชื่อมงาน เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมงานเพื่อที่จะได้ตรวจพบปัญหาได้เร็วขึ้น ทำการแก้ไขได้ทันเวลา และทำการตรวจสอบหลังการเชื่อม ภาพที่ 3 ปรับปรุงขั้นตอนปฏิบัติงานเชื่อมและการตรวจสอบ



ภาพที่ 3 ปรับปรุงขั้นตอนปฏิบัติงานเชื่อมและการตรวจสอบ

3) การบำรุงและเก็บรักษาลวดเชื่อม ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมควรปฏิบัติตามคำแนะนำของผู้ผลิต จัดเก็บรักษาลวดเชื่อมในที่ร่มแห้ง ระบายอากาศได้ดี ไม่ควรปล่อยให้ลวดเชื่อมตากแดด ตากฝนเพื่อการระบายอากาศที่ดี และปิดผนึกให้ดีที่สุด การเก็บแบ่งตามชนิดของลวดเชื่อม ไม่ควรเก็บรวมกัน



ภาพที่ 4 การบำรุงและเก็บรักษาลวดเชื่อม

4) ทำความสะอาดพื้นผิววัสดุโดยการเช็ดคราบน้ำมัน จาระบี หรือปัดสนิมที่ผิววัสดุ ใช้หัวเผาเผาสิ่งสกปรกและไล่ความชื้น ที่ผิววัสดุ เพื่อป้องกันปัญหาการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ ควรทำความสะอาดให้ดีพอก่อนที่จะเริ่มต้นการเชื่อมและระหว่างการเชื่อม



ภาพที่ 5 การตรวจสอบ การเตรียมแนวเชื่อม

5) ปิดพัดลมขณะเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม MIG (Metal Inert Gas) เพื่อลดโอกาสการพัดพาแก๊สที่ปกคลุมบริเวณแนวเชื่อมให้หายไป โดยจะมีแก๊สเกิดขึ้นที่แนวเชื่อมทำหน้าที่ ป้องกันอากาศจากภายนอกเข้าไปที่บ่อหลอมละลาย เพราะหากอากาศจากภายนอกเข้าไปทำปฏิกิริยาในระหว่างเชื่อมจะส่งผลให้คุณภาพของงานเชื่อมต่ำได้



ภาพที่ 6 การปฏิบัติงานเชื่อม MIG

6) การเก็บรักษาผงฟลักซ์สำหรับงานเชื่อมได้ฟลักซ์ ระหว่างการใช้งานต้องปิดฝา (Flux Hopper) เพื่อป้องกันความชื้นและสิ่งแปลกปลอมปะปนกับผงฟลักซ์ ซึ่งทำหน้าที่ขจัดออกซิเจนและสิ่งสกปรกต่างๆที่มีอยู่ในแนวเชื่อมทำให้แนวเชื่อมสมบูรณ์

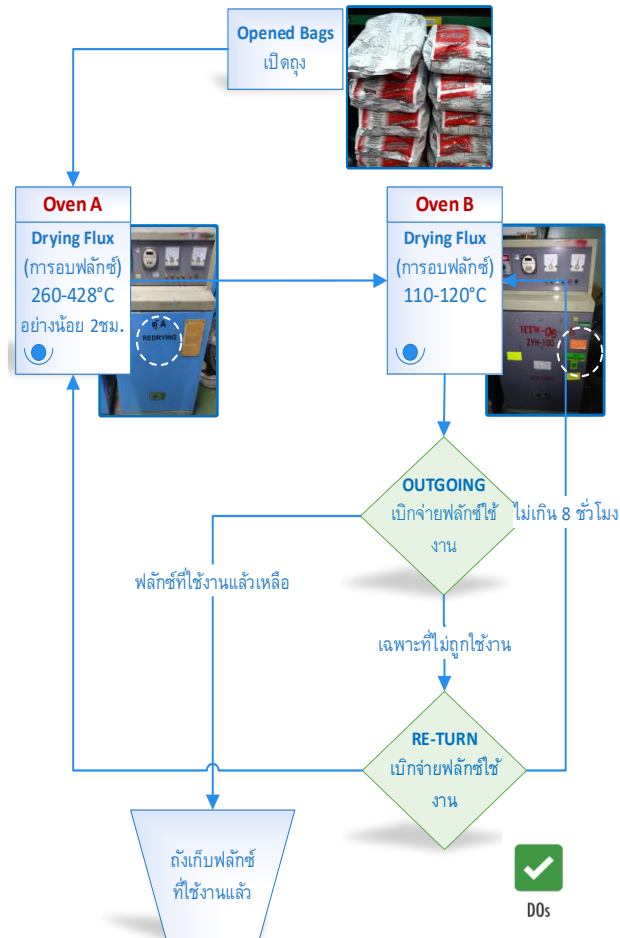


ภาพที่ 7 เก็บรักษาผงฟลักซ์ระหว่างการเชื่อม

7) อบผงฟลักซ์และเก็บฟลักซ์ตามวิธีการที่ถูกต้องทำการอบผงฟลักซ์ตามที่ผู้ผลิตกำหนด เมื่อทำการอบเสร็จแล้วจะต้องมีการเก็บรักษาไว้ในตู้อบเพื่อรอการนำไปใช้

วิธีเก็บรักษาและจัดการกับผงฟลักซ์

1. หลังจากนำ ผงฟลักซ์ ออกจากกล่อง จะต้องทำให้แห้งอีกครั้งและเกลี่ยให้เสมอกันในระดับต่ำกว่า 30 มม. และทำให้แห้งในเตาอบแห้ง
2. ฟลักซ์เก่าต้องอบให้แห้งอีกครั้ง เพราะผงฟลักซ์ ที่เหลือจากการใช้งาน จะดูดความชื้นได้ง่ายเมื่อใช้งานเสร็จ
3. ผงฟลักซ์ที่ถูกเปิดออกจากภาชนะบรรจุซึ่งยังไม่ใช้งานสามารถนำไปผสมกับ Flux ใหม่ในอัตรา 1:3 แล้วนำไปอบก่อนใช้งานได้



ภาพที่ 8 การควบคุมการอบผงฟลักซ์

8) การควบคุมกระบวนการปฏิบัติงานเชื่อม โดยมีหัวหน้างาน วิศวกรเชื่อมหรือฝ่ายควบคุมคุณภาพเป็นผู้กำกับการทำงานตามแผนการตรวจสอบ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการข้ามขั้นตอนการปฏิบัติงาน และทำตามเอกสารข้อกำหนดขั้นตอนการเชื่อม

4.ผลการวิจัย

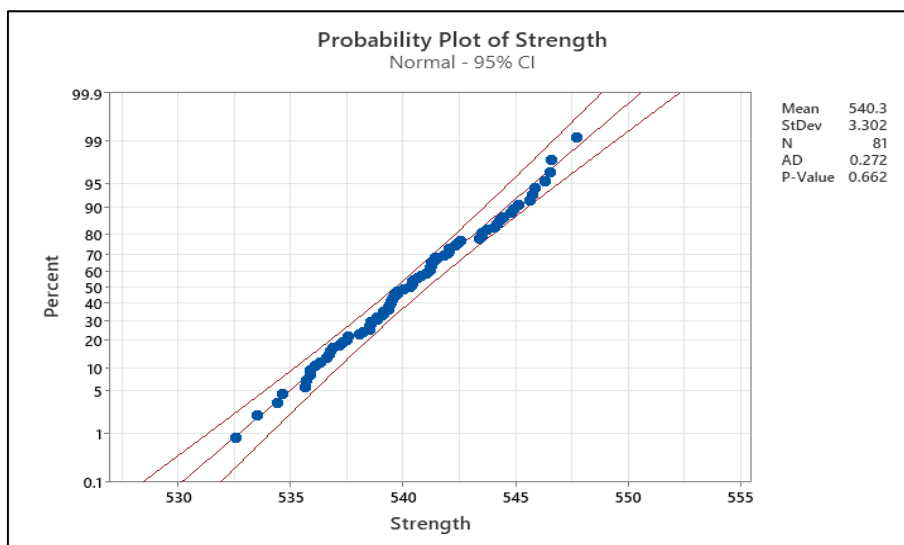
สำหรับงานวิจัยนี้ การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) จะประกอบด้วยปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ระดับกลาง และระดับสูง แสดงลำดับการทดลอง (Run Order) ซึ่งและเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลอง จะทำการทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จะต้องเก็บข้อมูลทั้งหมด $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$

ตารางที่ 3 การออกแบบการทดลอง มีการทดลอง ซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละระดับปัจจัย

กระแสไฟเชื่อม (แอมป์)	แรงดันอาร์ก (โวลต์)	ความเร็วในการเชื่อม (ชม./นาท)	ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		
			การทำซ้ำ 1	การทำซ้ำ 2	การทำซ้ำ 3
400	20	15	539.12	537.31	538.22
400	20	25	539.51	539.35	539.43
400	20	35	540.61	538.84	539.73
400	30	15	534.42	532.55	533.48
400	30	25	538.57	538.49	538.53
400	30	35	540.40	539.08	539.74
400	40	15	535.89	536.75	536.32
400	40	25	541.19	545.72	543.45
400	40	35	544.07	540.00	542.04
430	20	15	546.60	545.13	545.87
430	20	25	546.55	540.31	543.43
430	20	35	542.55	544.30	543.42
430	30	15	537.46	536.89	537.18
430	30	25	535.62	536.07	535.85
430	30	35	545.63	541.83	543.73
430	40	15	540.82	541.26	541.04
430	40	25	541.32	541.10	541.21
430	40	35	538.82	540.35	539.58
450	20	15	539.12	539.61	539.36
450	20	25	539.43	536.62	538.02
450	20	35	539.42	537.53	538.48
450	30	15	544.80	543.50	544.15
450	30	25	534.64	536.72	535.68
450	30	35	543.51	540.43	541.97
450	40	15	540.44	542.06	541.25
450	40	25	547.70	544.89	546.30
450	40	35	544.47	542.34	543.40

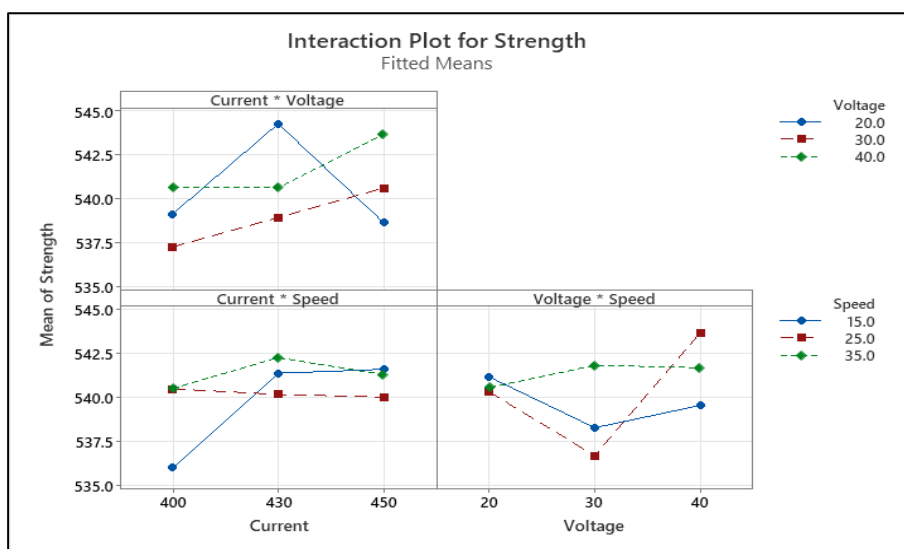
การทดลองกำหนดให้มีปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม แล้วทำการเก็บข้อมูลในตารางบันทึกผล แผนแบบแฟกทอเรียล สามระดับ ดังตารางที่ 3

การตรวจสอบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงปกติ โดยพิจารณาจากภาพที่ 9



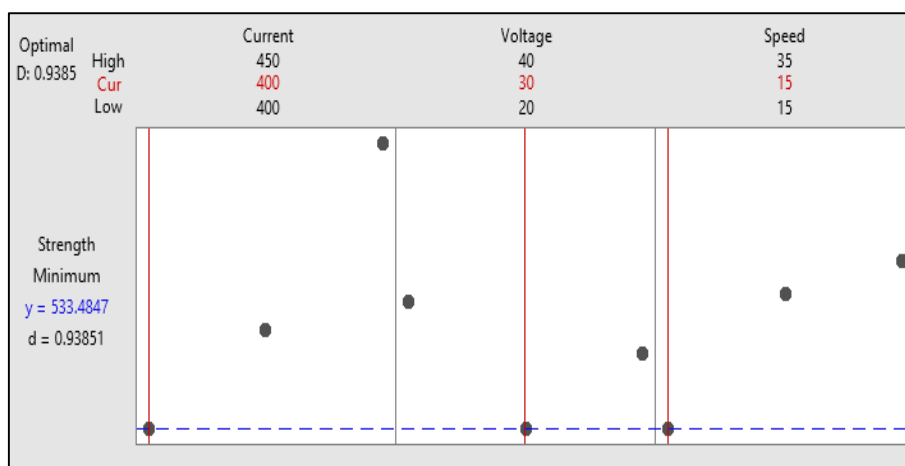
ภาพที่ 9 กราฟแสดงการกระจายแบบปกติของค่า ส่วนเหลือ Residual

พบว่ามีการกระจายตัวของความแข็งแรงแนวเชื่อม ตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่าเป็นการกระจายตัวแบบปกติ สามารถตรวจสอบได้จาก ค่าพี P-Value มีค่าเท่ากับ 0.662 มีค่ามากกว่า 0.05 และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมหลัก จาก 3 ปัจจัย ดังภาพที่ 10 กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมมีลักษณะเส้นที่ชันลงซึ่งถ้าเพิ่มกระแสไฟเชื่อมส่งผลต่อค่าการรับแรงดึง Tensile Strength ลดลง อย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าทุกปัจจัยการทดลองมีผลต่อคุณภาพของงานอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งทุกๆอิทธิพลร่วมของทุกปัจจัยดังนั้นจึงควรหาค่าที่เหมาะสมด้วยการใช้โปรแกรมมินิแทปวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์อิทธิพลหลัก 3 ปัจจัย

การทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของแนวเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมได้ฟลักซ์ โดยโปรแกรม Minitab V.21 ในการวิเคราะห์ข้อมูล เลือกใช้ฟังก์ชัน Response Optimize ในการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่ได้นำมาพิจารณาประกอบด้วย กระแสไฟเชื่อม แรงดันอาร์ค และความเร็วในการเชื่อมสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 10



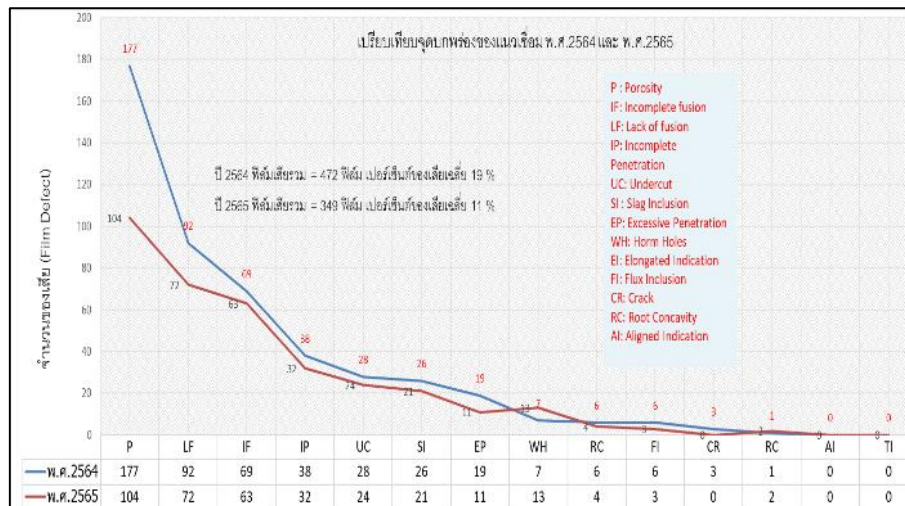
ภาพที่ 11 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จะใช้กระแสไฟเชื่อมที่ 400 A ใช้แรงดันอาร์ 30 V และความเร็วในการเชื่อม โดยประมาณ 15cm/min ได้คุณภาพแนวเชื่อมที่มีค่าการรับแรงดึงรับแรงดึงที่ 533.48 (N/mm²) ซึ่งหมายถึงไม่มีข้อบกพร่องเกิดขึ้นในแนวเชื่อม เพราะมีค่าการรับแรงดึงไม่ต่ำกว่า Tensile Strength ของวัสดุ 460-580 (N/mm²) และนำเอาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว ไปกำหนดใช้ในกระบวนการเชื่อมจริง ผลจากการดำเนินการหลังปรับปรุงแก้ไข พบของเสียที่เกิดขึ้น ชนิดความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม โดย พิจารณาจากจำนวนฟิล์มเสียมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 4 สรุปผลการเปรียบเทียบ จำนวนความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม ก่อนและหลังการปรับปรุง

ลำดับที่	ชนิดความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม	พ.ศ. 2564	พ.ศ. 2565	จำนวน(ฟิล์ม)	อัตราของเสีย(ร้อยละ)
1	ฟองอากาศ	177	104	-73	-41
2	รอยเชื่อมไม่ประสาน	92	72	-20	-22
3	การหลอมละลายไม่สมบูรณ์	69	63	-6	-9
4	รอยต่อไม่หลอมละลาย	38	32	-6	-16
5	รอยกัดแหวน	28	24	-4	-14
6	สารมลทินฝังใน	26	21	-5	-19
7	การซึมลึกมากเกินไป	19	11	-8	-42
8	รูหนอน	7	13	6	86
9	โพรงแนวยาว	6	4	-2	-33
10	ฟลักซ์ฝังใน	6	3	-3	-50
11	รอยแตก	3	0	-3	-100
12	ความแว้าที่ราก	1	2	1	100
จำนวนฟิล์มเสีย (Film Defect)		472	349	-123	-26
จำนวนฟิล์มทดลอง		2,556	3,054	+498	+16
จำนวนหม้อไอน้ำที่ผลิต		43	48	+5	+10

จัดลำดับความสำคัญของปัญหาหลังการแก้ไขปรับปรุง แสดงข้อมูลการจำกัดขอบเขตของปัญหาที่ได้ปรับปรุงแก้ไข 3 เรื่อง ก่อน มีแนวโน้มลดลงของปัญหาที่ 1. ฟองอากาศ 2. รอยเชื่อมไม่ประสาน และ 3. แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิ พาร์โต ดังภาพที่ 12 หลังการดำเนินการแก้ไขกระบวนการทำงาน และเก็บข้อมูลเปรียบเทียบ จำนวนฟิล์มเสีย ก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าแนวโน้มของเสียลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากการนำแผนภูมิพาร์โตมาใช้ในการหาสาเหตุแสดงให้เห็นถึงสาเหตุที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสีย ได้ตรงประเด็นรวมถึงการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการกระบวนการเชื่อม ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้



ภาพที่ 12 ข้อมูลเปรียบเทียบของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและผลการวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด ทำให้ทราบถึงของเสีย จากกระบวนการผลิตหม้อไอน้ำแบบท่อไฟ คือความไม่สมบูรณ์ของแนวเชื่อม เกิดจากปัญหาฟองอากาศ รอยเชื่อมไม่ประสาน และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ สาเหตุจากขั้นตอนวิธีปฏิบัติงาน การเตรียมงานผิวชิ้นงานไม่สะอาด การอบฟลักซ์ รวมถึงการปรับตั้งพารามิเตอร์ ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดงานเชื่อม

ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงานเชื่อมตามข้อกำหนด การควบคุมพารามิเตอร์ ทางผู้วิจัยทำการออกแบบแผนแบบแพคทอเรียล 3^3 หาระดับปัจจัยที่เหมาะสม และทำการตรวจสอบระหว่างการผลิต ผลการดำเนินการแก้ปัญหา ดังกล่าวพบว่า จากเดิมปัญหา ฟองอากาศมีจำนวนของเสีย 177 ฟิล์ม ลดลงเหลือ 104 ฟิล์มคิดเป็นร้อยละ 41 รอยเชื่อมไม่ประสานมีจำนวนของเสีย 92 ฟิล์ม ลดลงเหลือ 72 ฟิล์มคิดเป็นร้อยละ 22 และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์มีจำนวนของเสีย 69 ฟิล์ม ลดลงเหลือ 63 ฟิล์มคิดเป็นร้อยละ 9

6. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สามารถนำเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด ไปประยุกต์ใช้เพื่อ การวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการแก้ไข ซึ่งอาจจะต้องมีการ ปรับเปลี่ยนปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษาเพื่อให้ความเหมาะสมกับกระบวนการ ผลิต และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ ส่วนงานอื่นๆ ต่อไป

6.2 การเชื่อมได้ฟลักซ์ จะมีค่าพารามิเตอร์หลายตัวด้วยกันเพราะฉะนั้นในแต่ละแนวเชื่อมไม่สามารถใช้กระแสไฟ แรงเคลื่อน ความเร็วที่เท่ากันได้เพราะความหนาของแนวเชื่อม จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนชั้นของแนวเชื่อม

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบพระคุณ บริษัท เจตาแบค จำกัด (มหาชน) ที่อำนวยความสะดวก สนับสนุนข้อมูล เครื่องมือสถานที่ และ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

8. เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553). *คู่มือการใช้งานและดูแลบำรุงรักษาหม้อน้ำ โครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้าน ความปลอดภัยแก่สถานประกอบการ: ความปลอดภัยในการใช้งานหม้อไอน้ำ*. กรมโรงงานอุตสาหกรรม
- ชนาภา หันจางสิทธิ์. (2560). *Increase productivity เพิ่มผลผลิต พิชิตประสิทธิภาพ ด้วย Excel*. ไอทีซี.
- ไทย เอ็น ดี ที. (2559). *การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT)*. <http://www.tndt.co.th>.
- ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมเรื่อง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการเชื่อม - รอยต่องานเชื่อมหลอมละลายในเหล็กกล้า นิกเกิล ไทเทเนียม และโลหะเจือ (ไม่รวมการเชื่อมบีม) – ระดับคุณภาพของรอยเชื่อมที่ไม่สมบูรณ์. (23 พฤศจิกายน 2559). *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่ม 133 ตอนพิเศษ 270 ง หน้า 2.
- ฝนทิพย์ จรจันทร์. (2553). *การลดของเสียจากระบวนการเชื่อม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกส์ ซิกม่า กรณีศึกษา บริษัทไทยอาซาฮีเด็นกิ จำกัด*. [รายงานการวิจัย, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น].
- <http://library.tni.ac.th/thesis/upload/files/CRT%20CE%202010/Fonthip%20CRT%20CE%202010.pdf>
- วันเฉลิม วรรณสถิตย์. (29 กรกฎาคม 2559). *เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)*. ECONS.
- <http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/>
- ศิวัช เทสดีง อินสเพ็คชั่น แอนด์ คอนซัลติง. (2556). *การทดสอบโดยไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT)*.
- <http://www.siwatesting.com>.
- ศุภพัฒน์ ปิงดา. (2557). *การนำเครื่องมือคุณภาพ ทั้ง 7 (7 QC Tools) มาประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- http://www.eng.mut.ac.th/article_detail.php?id=50