

การพยากรณ์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวแปรในการเชื่อม TIG
ต่อสมบัติเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
THE PREDICTION OF OPTIMAL PARAMETERS IN THE TIG WELDING OF
AISI 304 STAINLESS STEEL USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

กิตติ วิโรจรัตนภาพิศาล¹ อุกฤษฏ์ ธนทรัพย์ทวี² ชิวพล นิตยัณรา³ จิตติวัฒน์ นธิกาญจนธาร⁴
และ พันทิวา พวงสาลี⁵

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ตาก, 41 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000,

¹kitti_w@rmutl.ac.th, ²t.ukrit@edu.rmutl.ac.th,

³อาจารย์, สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ
กรุงเทพฯ 10800, chiwapon.n@cit.kmutnb.ac.th

⁴อาจารย์, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลอีสาน อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000, jittiwat.ni@rmuti.ac.th

⁵นักวิจัย, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
แห่งชาติ, อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย 114 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120, nuttorakung@hotmail.com

Kitti Wirotrattanaphaphisan¹, Ukrit Thanasuptawee², Chiwapon Nitnara³

Jittiwat Nithikarnjanatharn⁴ and Puntiva Phuangsalee⁵

^{1,2}Lecturer, Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
Tak, 41/1 Moo 7 Paholayothin Road, Tambon Mai Ngam, Amphur Muang, Tak 63000, Thailand,

¹kitti_w@rmutl.ac.th, ²t.ukrit@edu.rmutl.ac.th,

³Lecturer, Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial
Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat I,
Bangsue, Bangkok 10800, Thailand, chiwapon.n@cit.kmutnb.ac.th

⁴Lecturer, Department of Industrial Engineering, Rajamangala University of Technology
Isan, Muang, Nakorn Ratchasima 30000, Thailand, jittiwat.ni@rmuti.ac.th

⁵Researcher, National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Road, Klong Nueng, Klong Luang, Pathum Thani 12120, Thailand, nuttorakung@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการพยากรณ์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของตัวแปรในการเชื่อม TIG ต่อสมบัติเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ในการดำเนินโครงการได้นำกระบวนการเชื่อมทิกแบบไม่เติมลวดเชื่อม โดยใช้แท่งทังสเตน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 มิลลิเมตร และขึ้นทดสอบใช้แผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ขนาด 50 x 150 x 2 มิลลิเมตร ประกอบกันเป็นรอยต่อชนและเชื่อมในตำแหน่งท่าราบ โดยใช้กระแสไฟเชื่อม 3 ระดับคือ 75, 95 และ 115 แอมแปร์ อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 3 ระดับคือ 10, 12 และ 14 ลิตรต่อนาที ความเร็วเดินเชื่อม 3 ระดับคือ 8, 10 และ 12 นิ้วต่อนาที ในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k ในการออกแบบการทดลอง และทำนายค่าความเค้นแรงดึงด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม จากผลการดำเนินโครงการนี้พบว่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงที่ดีที่สุด คือ กระแสไฟเชื่อมที่ 115 แอมแปร์ อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 12 ลิตรต่อนาที และความเร็วเดินเชื่อม 10 นิ้วต่อนาที ได้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด คือ 573.472 N/mm² และจากการพยากรณ์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมของค่าความเค้นแรงดึง มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ 0.99636 มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง (MSE) เท่ากับ 0.2485

คำสำคัญ: การเชื่อมทิก, ความเค้นแรงดึง, แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

ABSTRACT

This project aims to the prediction of optimal parameters in the TIG welding of AISI 304 Stainless steel using an artificial neural network. In the implementation of the project, the TIG welding process was used without filling wire. Tungsten electrodes diameter 1.6 mm and base material of 50 x 150 x 2 AISI 304 stainless steel plate were used in this experiment. The workpieces were formed as butt joint which were welded in flat position. The TIG welding process used 3 levels of welding current at 75, 95 and 115 amperes and 3 levels of welding gas at 10, 12 and 14 liters per minute as well as 3 levels of welding speed at 8, 10 and 12 inches per minute. The experiment was carried out on 3^k factorial design and predicted tensile stress values by neural network techniques. According to the results of this research, it was found that the maximum of tensile stress value was obtained with 115 amperes of welding

current, 12 liters per minute of welding cover gas and 10 inches per minute of welding speed. Which, the maximum of tensile stress value was 573.472 N/mm². From the experimental results, it was found that the tensile stress values could be predicted by neural network prediction with decision coefficient that 0.99636 It has a mean squared error (MSE) of 0.2485

KEYWORDS: Tig Welding, Tensile Stress, Neural Network Model

1. บทนำ

ปัจจุบันเหล็กกล้าไร้สนิมได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างไปจากวัสดุอื่น ๆ เช่น มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี มีความแข็งแรง เหนียวและทนต่ออุณหภูมิสูง มีลักษณะผิวที่สวยงาม ส่วนผสมของธาตุหลักจะประกอบไปด้วย เหล็ก โครเมียม และนิกเกิล มีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 1.2 เปอร์เซ็นต์ โครเมียมจะเป็นส่วนผสมหลักหลักมีประมาณ 10.5 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่านั้น สมบัติเหล็กกล้าไร้สนิมยากต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะง่ายต่อการเชื่อม จึงทำให้เหล็กกล้าไร้สนิม นิยมใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

กระบวนการเชื่อมทิก (Tungsten Inert Gas : TIG) เป็นกระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นกรรมวิธีการใช้คุณภาพของแนวเชื่อมสูงและสะอาด จึงส่งผลให้เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมการผลิตได้หลากหลายเช่น การเชื่อมท่อ การเชื่อมเหล็กแผ่น โดยที่ชิ้นงานหลอมละลายด้วยความร้อนที่เกิดจากการอาร์คระหว่างปลายแท่งอิเล็กโทรดทั้งสแตนกับชิ้นงานในขณะที่อาร์คจะมีแก๊สเฉื่อยปกคลุมเปลวอาร์คและบ่อหลอมละลายเพื่อป้องกันไม่ให้ ออกซิเจน ไนโตรเจน นำความชื้นในอากาศเข้ามารวมกับโลหะที่กำลังหลอมละลาย โดยที่แก๊สที่ใช้ในการปกคลุมแนวเชื่อมมี แก๊สอาร์กอน แก๊สฮีเลียม [1-4]

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติเป็นการออกแบบเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการและเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อมาอธิบายในความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพสามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกัน มีนักวิจัยจำนวนมากที่นำหลักการออกแบบการทดลองเชิงสถิติมาใช้ในการศึกษาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมทิก เช่น Kumar and Sundarrajan [1] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมทิกสำหรับวัสดุ Al-Mg-Si alloy Joseph and Muthukumaran [2] ทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมทิกเพื่อปรับปรุงแนวเชื่อมสำหรับวัสดุ AISI 4135 Reddy and VenkataRamana [5] ได้ทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมทิกด้วยหุ่นยนต์สำหรับวัสดุ AISI 3041 และ AISI 430 Yosefieh et al [6] ได้ทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมของกระแสไฟฟ้าชนิดพัลส์ในกระบวนการเชื่อมทิกสำหรับวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมชุบเปอร์ดูเพล็กซ์ Mathew and Velmurugan [7] ได้ทำการศึกษา

พารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมทิกสำหรับวัสดุ SS304 Manikandan et al [8] ได้ทำการศึกษาค่าที่เหมาะสมของกระแสไฟฟ้าชนิดพัลในกระบวนการเชื่อมทิกสำหรับวัสดุ alloy C-276 ด้วยวิธีการทากูชิ นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ในการพยากรณ์ค่าที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อม ด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบเพื่อเลียนแบบการประมวลผลข้อมูลของเครือข่ายเซลล์ประสาทในสมองมนุษย์ เช่น Pashazadeh et al [9] ประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมสปอตวัสดุ AISI 1008

งานวิจัยนี้จึงได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k และการพยากรณ์โดยโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและการพยากรณ์ค่าความต้านทานความเค้นแรงดึงของแนวเชื่อมในกระบวนการเชื่อมทิกสำหรับวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304

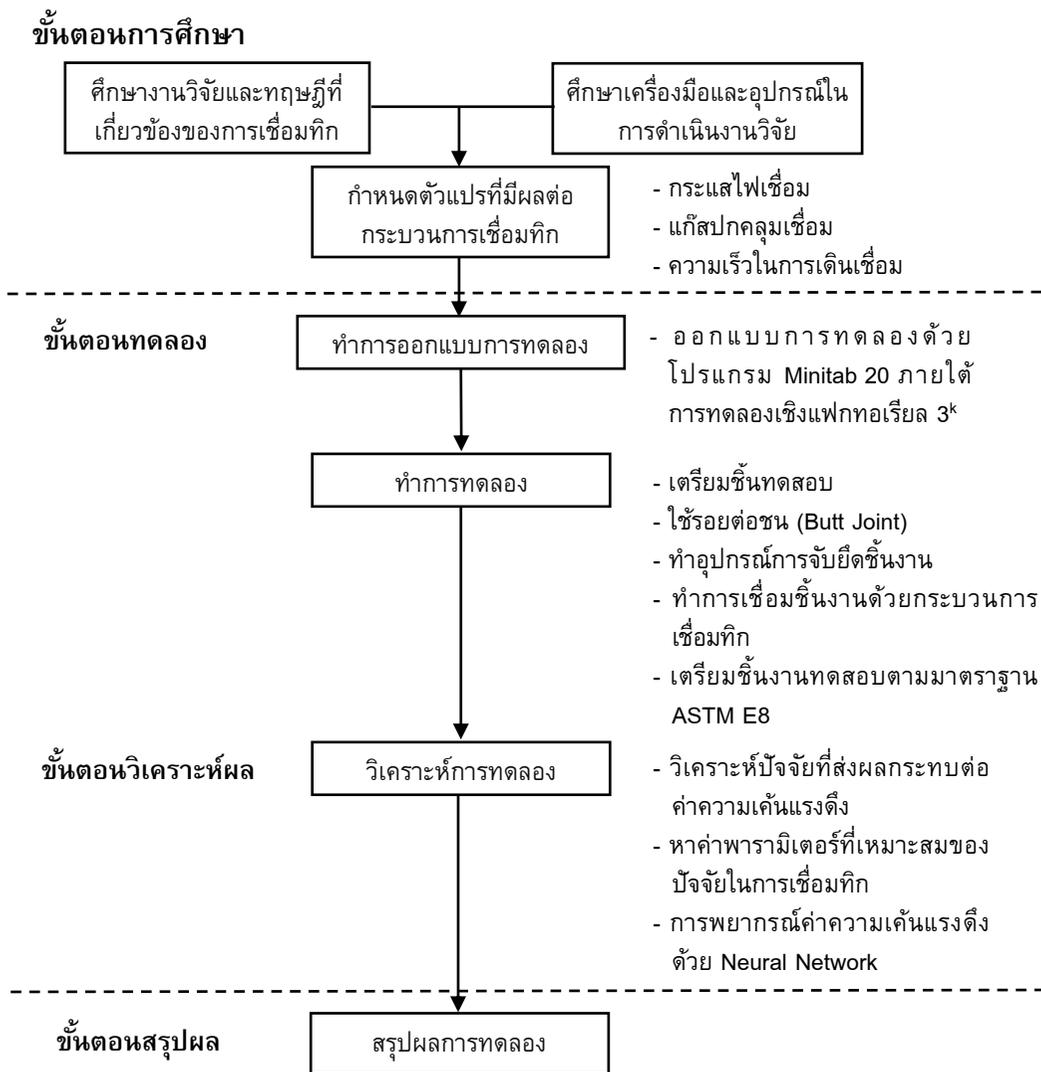
2. วิธีการดำเนินงานโครงการ

การดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้จัดเตรียมอุปกรณ์ในการทดลอง จากนั้นได้ทำการกำหนดปัจจัยและได้ทำการทดลองเชื่อมวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยวิธีการเชื่อมทิกตามหลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3^k เมื่อทำการทดลองเสร็จได้ทำการทดสอบแรงดึง โดยอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [1, 2, 4, 7, 10-13] ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความเค้นแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM E8 จากนั้นใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab 20 มาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของแนวเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึงที่มากที่สุด จากนั้นผู้ดำเนินงานวิจัยได้นำการประยุกต์ใช้ระบบปัญญาประดิษฐ์ด้วย Neural Network ในการพยากรณ์และเปรียบเทียบผลประสิทธิภาพของแบบจำลองและการทดลอง ซึ่งแผนผังการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 1

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก โดยนำชิ้นงานที่ตัดแล้วมาเชื่อมยึดหัวท้ายให้เป็นรอยต่อชน (Butt Joint) ดังรูปที่ 2 ในกระบวนการเชื่อมทิกใช้ทั้งสแตนขนาด 1.6 มิลลิเมตร ซึ่งกำหนดให้ปลายลวดทั้งสแตนออกจากหัว Nozzle ระยะเท่ากับ 2 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางลวดทั้งสแตน และทำมุม 60 องศากับชิ้นงาน โดยเชื่อมชิ้นงานที่ถูกจับยึดกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานตามแนวยาว ดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ผู้วิจัยได้กำหนดพารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมทิกโดยกำหนดจากค่ามาตรฐานแนะนำจากหนังสือกระบวนการเชื่อม [14] จากนั้นทำออกแบบการทดลองทางสถิติโดยใช้กระแสไฟเชื่อม 75, 95 และ 115 แอมแปร์ ใช้อัตรา

การไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 10, 12 และ 14 ลิตร/นาที และความเร็วในการเดินเชื่อม 8, 10 และ 12 นิ้ว/นาที ดังตารางที่ 1 และได้ทำการทดลองภายใต้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 ระดับ (3^k) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับศึกษาถึงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมจากพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อผลตอบทางสถิติ รวมถึงยังสามารถใช้สำหรับหาค่าที่เหมาะสมของกระบวนการ ซึ่งพารามิเตอร์ในการเชื่อมทิก และผลการทดลองของแต่ละพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 2 นอกจากนี้รูปของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิกแสดงได้ดังรูปที่ 5 และชิ้นงานทดสอบที่ถูกต้องเตรียมตามมาตรฐาน ASTM E8 รวมถึงการทดสอบความเค้นแรงดึง แสดงดังรูปที่ 6 – 8



รูปที่ 1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 2 รอยต่อของชิ้นงานหลังการเชื่อมยึด



รูปที่ 3 แสดงการตั้งมุมหัวเชื่อม 60 องศา



รูปที่ 4 เชื่อมชิ้นงานทดสอบ



(ก)

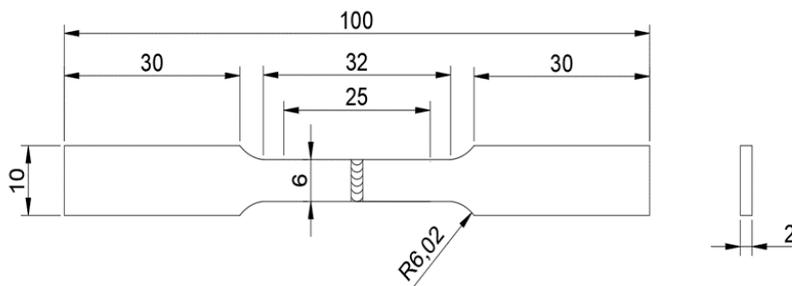


(ข)

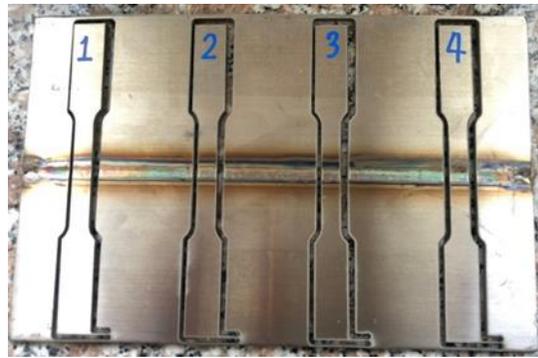


(ค)

รูปที่ 5 ชิ้นงานทดลองผ่านกระบวนการเชื่อมทิก (ก) ใช้กระแสไฟเชื่อม 75 แอมแปร์ (ข) ใช้กระแสไฟเชื่อม 95 แอมแปร์ (ค) ใช้กระแสไฟเชื่อม 115 แอมแปร์



รูปที่ 6 แบบชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8



รูปที่ 7 ชิ้นทดสอบหลังตัดด้วย wire cut



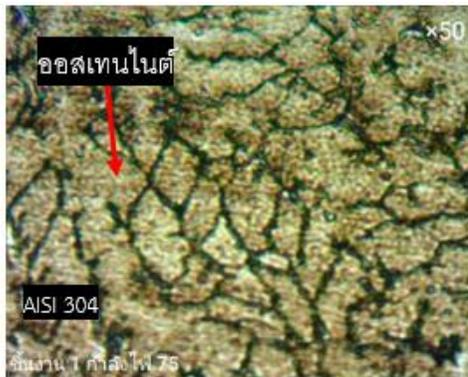
(ก)



(ข)

รูปที่ 8 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) (ก) ลักษณะการจับยึดชิ้นงาน (ข) ลักษณะชิ้นงานหลังการทดสอบ

โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม Tig ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยนำชิ้นทดสอบที่ผ่านการกัดกรดไปส่องดูโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์ พร้อมถ่ายภาพที่กำลังขยาย 50X ดังแสดงได้ดังรูปที่ 9 โดยผลหลังการทดสอบที่ใช้กระแสที่ 75 แอมแปร์ โครงสร้างที่ได้คือออสเทนไนต์ ดังรูปที่ 9 ก ในขณะที่เดียวกันที่กระแสไฟ 115 แอมแปร์ โครงสร้างที่ได้คือออสเทนไนต์ และเดลต้าเฟอร์ไรท์ จากกระบวนการเชื่อมด้วยกระแสที่สูง ดังรูปที่ 9 ข



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคในชิ้นงานเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 (ก) การเชื่อมโดยกระแสไฟเชื่อมที่ 75 แอมแปร์ กำลังขยาย 50 เท่า (ข) การเชื่อมโดยกระแสไฟเชื่อมที่ 115 แอมแปร์ กำลังขยาย 50 เท่า

ตารางที่ 1 ระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง	หน่วย
กระแสไฟเชื่อม	75	95	115	แอมแปร์
อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม	10	12	14	ลิตร/นาที
ความเร็วเดินเชื่อม	8	10	12	นิ้ว/นาที

ตารางที่ 2 ตารางการออกแบบการทดลองและผลการทดลอง

ลำดับ	กระแสไฟเชื่อม	อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม	ความเร็วเดินเชื่อม	ค่าความเค้นแรงดึง (N/mm ²)	
				ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
1,28	75	10	8	182.639	174.444
2,29	75	10	10	210.000	213.889
3,30	75	10	12	215.000	214.028
4,31	75	12	8	203.889	200.278
5,32	75	12	10	210.417	187.361
6,33	75	12	12	212.639	216.528
7,34	75	14	8	285.111	205.833

ตารางที่ 2 ตารางการออกแบบการทดลองและผลการทดลอง (ต่อ)

ลำดับ	กระแสไฟ เชื่อม	อัตราการไหล แก๊สปกคลุมเชื่อม	ความเร็ว เดินเชื่อม	ค่าความเค้นแรงดึง (N/mm ²)	
				ซ้ำ 1	ซ้ำ 2
8,35	75	14	10	222.972	219.167
9,36	75	14	12	211.528	290.833
10,37	95	10	8	296.528	377.222
11,38	95	10	10	310.278	288.750
12,39	95	10	12	273.056	265.694
13,40	95	12	8	254.444	307.917
14,41	95	12	10	357.778	287.083
15,42	95	12	12	277.222	264.306
16,43	95	14	8	254.861	235.694
17,44	95	14	10	225.139	215.972
18,45	95	14	12	245.694	258.750
19,46	115	10	8	525.417	553.889
20,47	115	10	10	560.139	563.194
21,48	115	10	12	524.583	542.083
22,49	115	12	8	543.056	573.194
23,50	115	12	10	557.472	573.472
24,51	115	12	12	533.889	560.278
25,52	115	14	8	413.750	396.389
26,53	115	14	10	531.806	553.472
27,54	115	14	12	369.722	373.056

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นอิทธิพลหลักและปัจจัยที่เป็นอิทธิพลร่วม

จากผลการทดลองจึงได้นำข้อมูลในตารางที่ 2 มาทำการวิเคราะห์ผลความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความเค้นแรงดึงแสดงให้เห็นถึงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึงที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการทดสอบความเค้นแรงดึง พบว่าปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมของปัจจัยที่มี

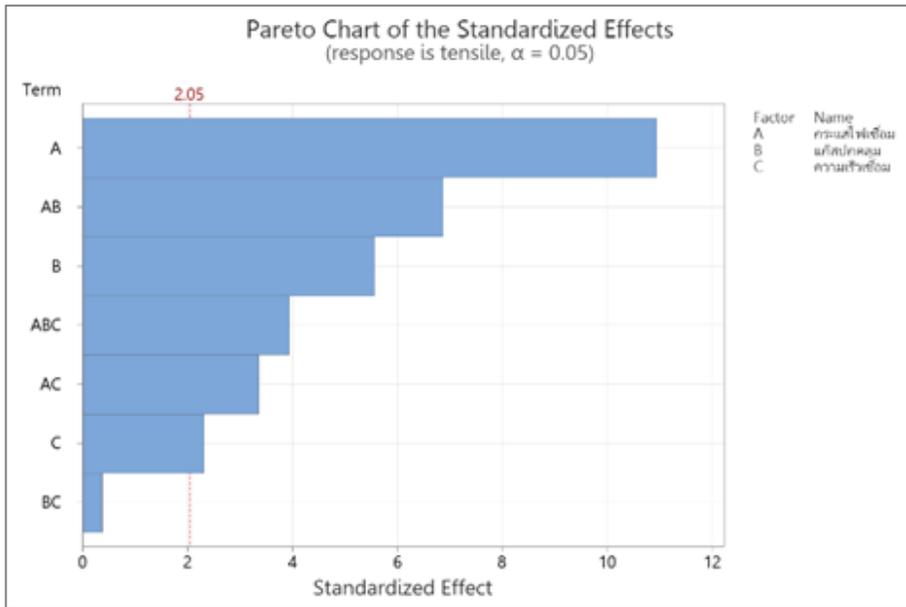
อิทธิพลต่อค่าความเค้นแรงดึงคือ กระแสไฟเชื่อม อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อม โดยที่ค่า P-Value ทั้งหมดของปัจจัยหลักมีค่าน้อยกว่า 0.05 และเมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วมของปัจจัย พบว่าผลกระทบร่วมระหว่างกระแสไฟเชื่อมและอัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม กระแสไฟเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองมีความเชื่อถือได้ 96.86 % ดังตารางที่ 3 นอกจากนี้ยังพบว่าค่า R-square (adj) มีค่าเท่ากับ 91.76 % ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความความสัมพันธ์พอเพียงในการพิตข้อมูล

นอกจากนี้รูปที่ 10 ได้แสดงถึงผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึง พบว่ากระแสไฟเชื่อมมีอิทธิพลความร้อนในงานเชื่อมส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึงมากที่สุดรวมไปถึงอัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อมเป็นผลกระทบหลักของปัจจัย ในขณะที่ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยพบว่ากระแสไฟเชื่อมและอัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม รวมไปถึงกระแสไฟเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึง รูปที่ 11 พบว่าเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อม 115 แอมแปร์ เกิดค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด และเมื่อกระแสไฟเชื่อมลดลงที่ 95 แอมแปร์ และ 75 แอมแปร์ ค่าความเค้นแรงดึงจะลดลงตามลำดับ และพบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อมที่ 10 และ 12 ลิตร/นาที จะทำให้ค่าความเค้นแรงดึงใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อมที่ 14 ลิตร/นาที จากผลการทดลองพบว่าผลของค่าความเค้นแรงดึงลดลง ซึ่งผลจากการที่ใช้อัตราการไหลแก๊สปกคลุมมากเกินไป นอกจากนี้ยังพบว่าความเร็วในการเดินเชื่อม 8 และ 12 นิ้ว/นาที จะมีค่าความเค้นแรงดึงใกล้เคียงกัน และเมื่อใช้ความเร็วในการเดินเชื่อมที่ 10 นิ้ว/นาที จะมีค่าความเค้นแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นความเร็วในการเชื่อมที่เหมาะสมของการทดลองมีผลทำให้แนวเชื่อมแข็งแรง ในขณะที่รูปที่ 12 พบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อมที่ 10, 12 และ 14 ลิตร/นาที ใช้กระแสไฟเชื่อม 75, 95 และ 115 แอมแปร์ จะส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงเพิ่มขึ้น เป็นผลจากที่กระแสไฟเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมที่เหมาะสมมีผลโดยตรงกับต่อความแข็งแรง ในขณะที่ผลกระทบร่วมระหว่างกระแสไฟเชื่อมและความเร็ว พบว่าเมื่อใช้ความเร็วเดินเชื่อมที่ 8, 10 และ 12 นิ้ว/นาที จะได้ค่าความเค้นแรงดึงที่เพิ่มขึ้น เมื่อปรับใช้กระแสไฟเชื่อม 75, 95 และ 115 แอมแปร์ตามลำดับ และผลกระทบร่วมระหว่างอัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมจะส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึง พบว่าเมื่อใช้ความเร็วเดินเชื่อมที่ 8, 10 และ 12 นิ้ว/นาที และปรับใช้อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อมที่ 10, 12 และ 14 ลิตร/นาที จะได้ค่าความเค้นแรงดึงที่น้อยลงตามลำดับ ซึ่งความแข็งแรงดึงที่ต่ำโดยใช้กระแสไฟที่ต่ำ เกิดการหลอมละลายลึกไม่สมบูรณ์ (Incomplete Penetration) และการเกิดโดยกระแสไฟเชื่อมและความเร็วเดินเชื่อมที่ไม่เหมาะสมส่งผลต่อความร้อนเข้า (Heat Input) เกิดรอยเชื่อมสันนูน (Weld Bead) ของขนาดและรูปร่างของรอยเชื่อมส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อมได้ อัตราการไหลของแก๊สปกคลุมที่แตกต่างกันมีผลต่อรูปร่างของแนวเชื่อมและ

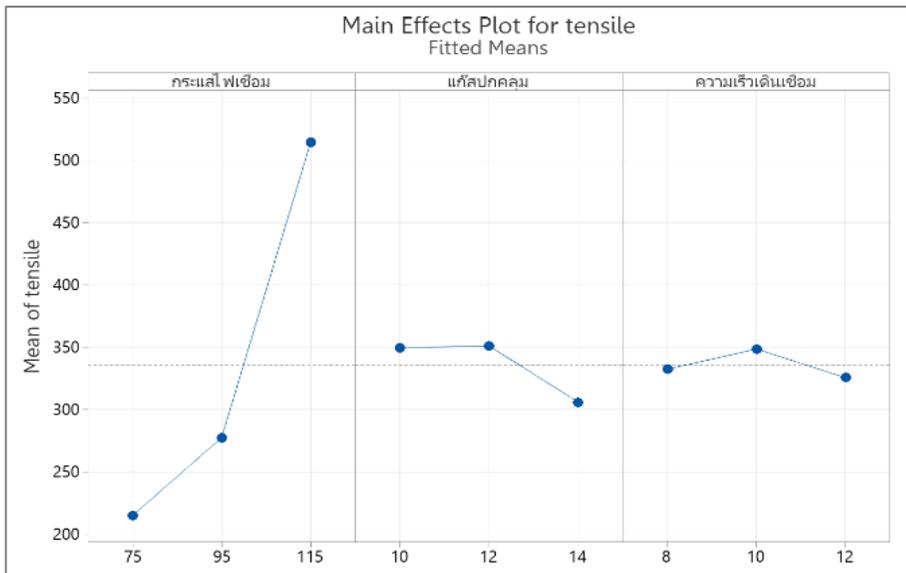
คุณสมบัติทางกลเช่นกัน ในการทดลองได้กำหนดเงื่อนไขในการดำเนินงานในห้องปฏิบัติการแบบเปิดในสภาวะแวดล้อมเดียวกันทุกชิ้นงาน

ตารางที่ 3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับค่าความเค้นแรงดึง

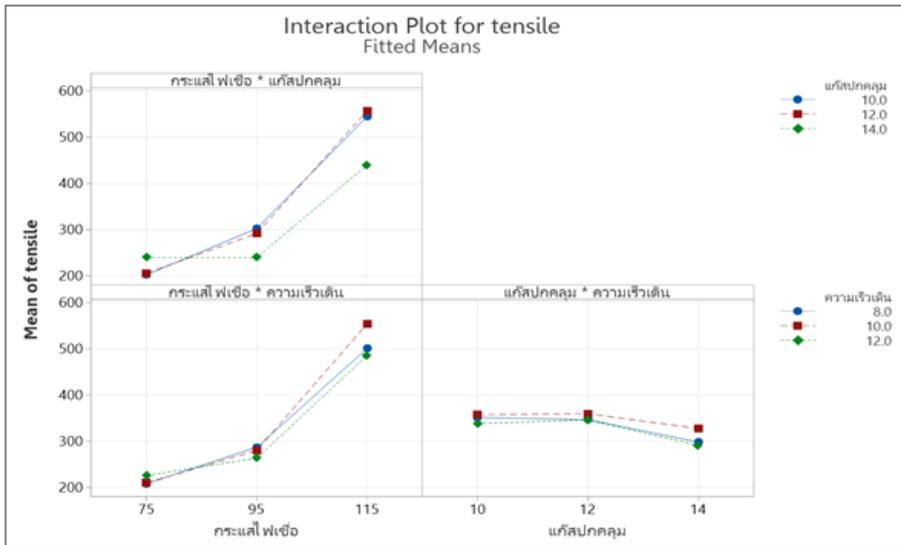
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	26	1006835	38724	63.98	0.000
Linear	6	921705	153517	253.81	0.000
กระแสไฟเชื่อม	2	892578	446289	737.36	0.000
อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม	2	23509	11755	19.42	0.000
ความเร็วเดินเชื่อม	2	5617	2809	4.64	0.019
2-Way Interactions	12	60750	5063	8.36	0.000
กระแสไฟเชื่อม*แก๊สปกคลุม	4	45023	11256	18.60	0.000
กระแสไฟเชื่อม*ความเร็วเดินเชื่อม	4	14636	3659	6.05	0.002
อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม*ความเร็วเดินเชื่อม	4	1092	273	0.45	0.771
3-Way Interactions	8	24380	3048	5.04	0.001
กระแสไฟเชื่อม*อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม*ความเร็วเดินเชื่อม	8	24380	3048	5.04	0.001
Error	27	16646	605		
Total	53	1023177			
R-sq = 98.40% R-sq(adj) = 96.86% R-sq(pred) = 93.61%					



รูปที่ 10 แผนภูมิพารेटโตแสดงผลกระทบที่มีผลต่อค่าความเค้นแรงดึง



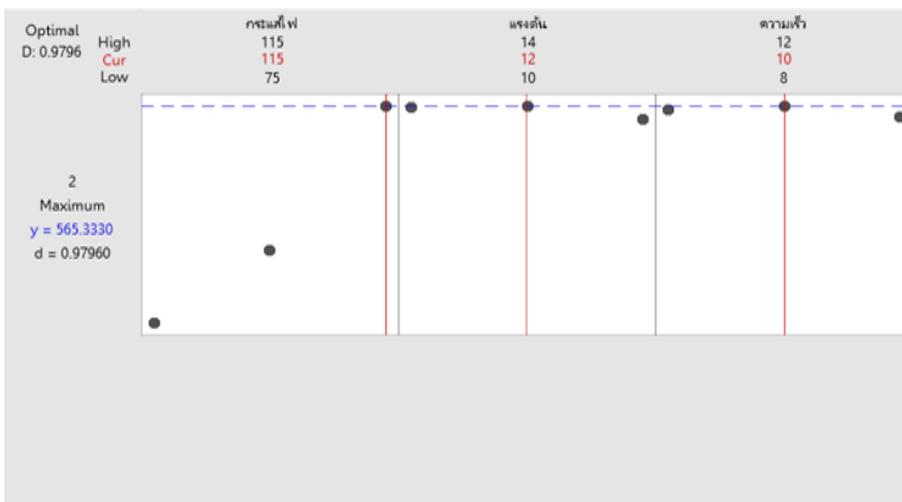
รูปที่ 11 กราฟของอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัย



รูปที่ 12 ผลกระทบร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อความเค้นแรงดึง

4.2 การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

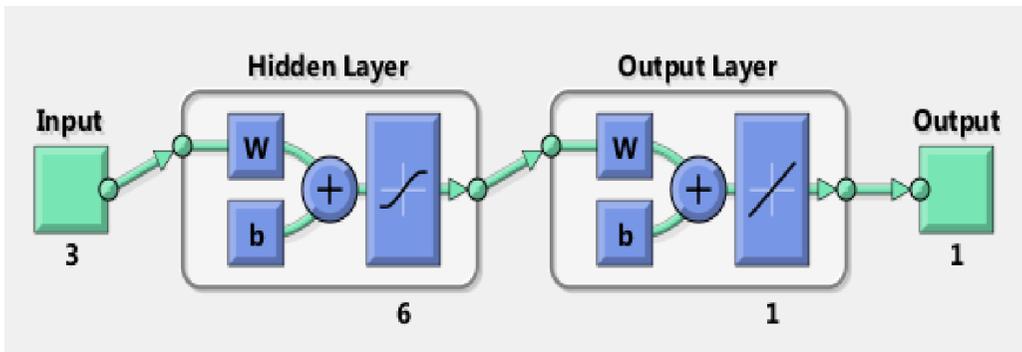
การทดลองหาสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ค่าความเค้นแรงดึง โดยกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบได้แก่ กระแสไฟเชื่อม อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม และความเร็วเดินเชื่อม จากการทดลองใช้ Response Optimizer โปรแกรม Minitab 20 ในการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า กระแสไฟเชื่อมที่ 115 แอมแปร์ อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 12 ลิตร/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 10 นิ้ว/นาที ได้ค่าความเค้นแรงดึงที่ดีที่สุดประมาณ 565.333 N/mm² ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าความเค้นแรงดึงสูงที่สุด

4.3 การพยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึง

การพยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) โดยใช้ Neural Network เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประมวลผลข้อมูลด้วยการเชื่อมต่อการคำนวณและระบบการทำแบบไม่เชิงเส้น (Non-Linear Mapping System) ในการจำลองนี้จะใช้ Neural Network 3 ชั้น ให้การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็นแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed Forward) ด้วยอัลกอริทึม Levenberg-Marquardt ดังรูปที่ 14

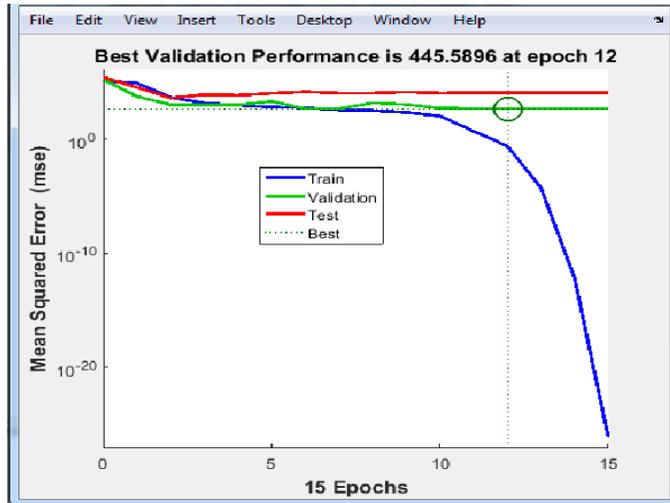


รูปที่ 14 แบบจำลอง Neural Network

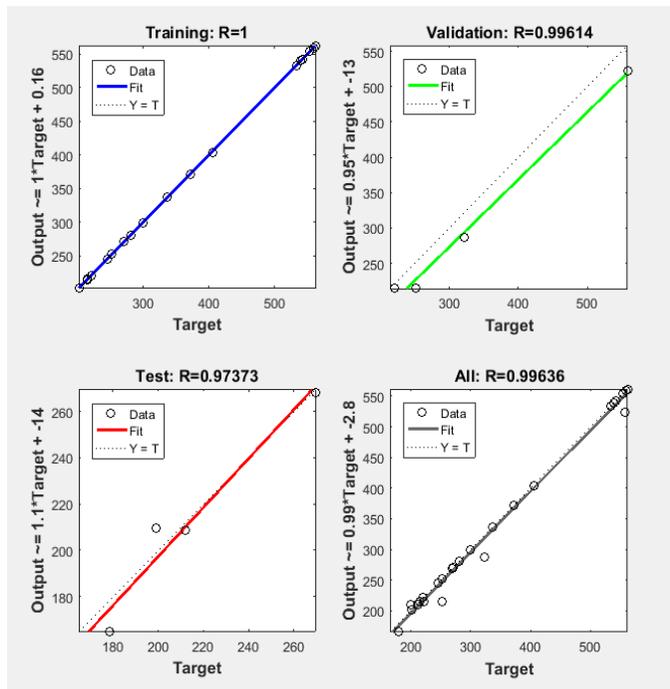
การเลือก Neural Network ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง (MSE) ของชุดการทดลอง พบว่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) จะประกอบด้วยชั้นของข้อมูลอินพุต (Input Layer) ชั้นซ่อน (Hidden Layer) และชั้นผลลัพธ์ (Output-Layer) ชั้นซ่อนอยู่ประกอบด้วย 6 เซลล์ประสาท (Neurons) และชั้น Output ประกอบด้วยหนึ่งเซลล์ประสาท (Neurons) จากค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) โดยจะมีการเรียนรู้ของโปรแกรมโมเดลนี้จะมี 3 ชั้น ตัวแปร Input ที่ซ่อนคือค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าที่ใช้ในการทดลอง ค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) คือตัวแปร Output ที่ซ่อนอยู่ กราฟประสิทธิภาพการเรียนรู้ของ Neural Network เป็นการแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความผิดพลาด สามขั้นตอน คือ การฝึกสอน (Train) การตรวจสอบ (Validation) และทดสอบ (Test) ประสิทธิภาพการตรวจสอบที่ดีที่สุด (Best) เกิดขึ้นที่รอบในการวนซ้ำ (Epoch) ที่ 15 ดังรูปที่ 15

กราฟการถดถอยที่พยากรณ์ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) ทั้ง 27 การทดลอง ความสัมพันธ์ของผลลัพธ์เป้าหมายผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองจาก Neural Network มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการทดสอบ (Training) ที่ 1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการตรวจสอบ (Validation) ที่ 0.99614 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการ

ทดสอบ (Test) ที่ 0.97373 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจรวมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 0.99636 โดยมีความชันเท่ากับ 0.99 และมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ 0.248560 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด รูปที่ 16



รูปที่ 15 กราฟประสิทธิภาพ Neural Network

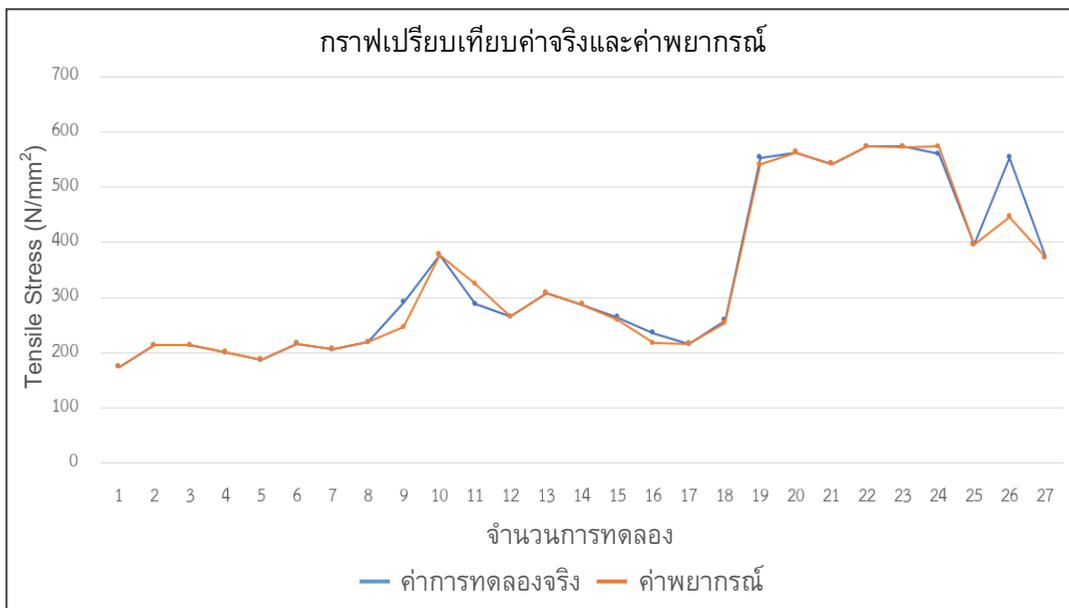


รูปที่ 16 กราฟการถดถอย Neural Network

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความเค้นแรงดึงการทดลองจริงและค่าที่ได้จากการพยากรณ์

ลำดับ	ค่าการทดลองจริง	ค่าการพยากรณ์	Percent Error
1	174.444	174.4518	0.004
2	213.889	213.5281	0.169
3	214.028	213.5994	0.201
4	200.278	201.2482	0.482
5	187.361	188.1971	0.444
6	216.528	217.0755	0.252
7	205.833	206.5408	0.343
8	219.167	219.6514	0.221
9	290.833	246.5109	17.980
10	377.222	377.1569	0.017
11	288.75	324.3250	10.969
12	265.694	265.7326	0.015
13	307.917	308.1189	0.066
14	287.083	287.3015	0.076
15	264.306	259.8471	1.716
16	235.694	217.5406	8.345
17	215.972	216.6458	0.311
18	258.75	253.6263	2.020
19	553.889	541.2017	2.344
20	563.194	563.1646	0.005
21	542.083	542.0604	0.004
22	573.472	573.5715	0.017
23	573.194	572.8307	0.063
24	560.278	573.1687	2.249
25	396.389	395.3516	0.262
26	553.472	445.9284	24.117
27	373.056	372.7439	0.084

จากตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของค่าการทดลองจริงกับข้อมูลที่พยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) อธิบายได้ว่าจาก 27 ค่าการทดลองแสดงความแตกต่างของข้อมูลตามลำดับ รูปที่ 17 แสดงกราฟจากตารางเพื่อเปรียบเทียบผลของการพยากรณ์ที่ได้จากโปรแกรม Matlab ในฟังก์ชัน Neural Net Fitting พบว่ากราฟมีความสัมพันธ์ของข้อมูลที่สอดคล้องกันค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลสามารถพิจารณาได้จากจุดที่อยู่บนกราฟ (Line With Markers) จะมีความห่างระหว่างจุดของกราฟแต่ละเส้น ซึ่งค่อนข้างจะมีทิศทางไปในทางเดียวกันแต่จะมีอยู่ 1 จุดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดเพราะ Percent Error เท่ากับ 24.117% ความสูงของจุดในแนวแกน Y จะแทนเป็นค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) และความห่างระหว่างจุด ในแนวแกน X จะแทนจำนวนการทดลองตามลำดับ



รูปที่ 17 กราฟเปรียบเทียบค่าการทดลองจริงและค่าการพยากรณ์

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเชิงเส้นแสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลอง โดยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาการเกิดแบบจำลองจดจำรูปแบบของข้อมูลเทรนยังมีจำนวนมาก จะทำให้จะทำนายข้อมูลแม่นยำมากขึ้น ถึงแม้ว่ามีการแบ่งข้อมูลในการเทรน แต่ทุกข้อมูลสามารถได้รับการเทรนทั้งหมดตั้งนั้นข้อมูลจำนวน 27 การทดลอง จึงมีความเพียงพอในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

5. สรุปผลการทดลอง

5.1) จากการดำเนินโครงการทดสอบคุณสมบัติทางกลความทนทานต่อแรงดึง ค่าความเค้นแรงดึงต่ำที่สุดเกิดจากใช้กระแสไฟเชื่อม 75 แอมแปร์ อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 10 ลิตร/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 8 นิ้ว/นาที ได้ค่าความเค้นแรงดึง เท่ากับ 174.444 N/mm^2 ซึ่งมีการขาดของชิ้นงานตรงแนวเชื่อมเนื่องจากกระแสไฟเชื่อมน้อยจะทำให้ไม่เกิดการซึมลึก จึงเป็นเหตุทำให้ได้ค่าความเค้นแรงดึงที่ต่ำ ในทางกลับกันเมื่อใช้กระแสไฟเชื่อมที่ 115 แอมแปร์ อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 12 ลิตร/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 10 นิ้ว/นาที ได้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด เท่ากับ 573.472 N/mm^2 เนื่องจากตัวแปรกระแสไฟในการเชื่อมที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้การหลอมละลายรวมตัวกันของชิ้นงานทั้งสองชิ้นสมบูรณ์ และยังส่งผลต่อความเค้นแรงดึงที่สูงขึ้นตามลำดับ จากการดำเนินการทดลองไม่ได้มีการคลุมปิดบริเวณที่ทำการเชื่อม มีผลให้มีการเกิด Oxidation ในการทดลองซึ่งเป็นข้อจำกัดในระหว่างดำเนินการทดลอง

5.2) จากการทดลองภายใต้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมทิกเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 จากการแนะนำทางสถิติ คือค่ากระแสไฟเชื่อมที่ 115 แอมแปร์ อัตราการไหลแก๊สปกคลุมเชื่อม 12 ลิตร/นาที และความเร็วเดินเชื่อม 8 นิ้ว/นาที ได้ค่าความเค้นแรงดึงเท่ากับ 565.333 N/mm^2

5.3) ผลจากการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ Neural Network มาพยากรณ์ โดยใช้โปรแกรม Matlab ที่มีประสิทธิภาพในการทำหาค่าความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เพื่อช่วยในการทำนายผลในการหาสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับออกแบบการทดลอง โดยผลจากการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ จะประกอบไปด้วยจำนวนนิวรอน ในชั้น Input 3 นิวรอน จำนวนนิวรอนที่ซ่อนอยู่ในชั้นที่ 1 มีจำนวน 6 นิวรอน และนิวรอนที่แสดงอยู่ในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน (3-6-1) โดยจะเอามาเปรียบเทียบค่าทดลองจริงกับค่าการพยากรณ์ของ Neural Network โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ 0.99636 มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง (MSE) เท่ากับ 0.248560 และความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าการทดลองจริงและค่าที่พยากรณ์ จะพบเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ช่วง 0.004.- 24.117 เปอร์เซ็นต์

6. ข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์ในการจับยึดชิ้นงาน อาจจะสะสมความร้อนในการเชื่อมควรรอให้เย็นตัวก่อนจึงทำการเชื่อมชิ้นงานต่อไป ทำการศึกษาปริมาณโครเมียมคาร์ไบด์ ในโครงสร้างโลหะบริเวณแนวเชื่อมที่สัมพันธ์กับปัจจัยการเชื่อมที่มีผลต่อค่าความเค้นแรงดึง

References

- [1] Kumar A, Sundarrajan S. Effect of welding parameters on mechanical properties and optimization of pulsed TIG welding of Al-Mg-Si alloy. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2009; 42:118-125
- [2] Joseph J, Muthukumaran S. Optimization of activated TIG welding parameters for improving weld joint strength of AISI 4135 PM steel by genetic algorithm and simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2017;93:23-34
- [3] Singh AK, Dey V, Rai RN. Techniques to improve weld penetration in TIG welding (A review). *Materials Today: Proceedings* 2017;4(2):1252-9.
- [4] Shrivastava S, Vaidya SK, Khandelwal AK, Vishvakarma AK. Investigation of TIG welding parameters to improve strength. *10th International Conference of Materials Processing and Characterization. Materials Today: Proceedings* 2020;26:1897-902.
- [5] Reddy GN, VenkataRamana M. Optimization of process parameters in welding of dissimilar steels using robot TIG welding. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering* 2018;330:012096.
- [6] Yosefieh M, Shamanian M, Saatchi A. Optimization of the pulsed current gas tungsten arc welding parameters for corrosion resistance of super duplex stainless steel welds using the Taguchi method. *Journal of Alloy and Compounds* 2011;509(3):782-8.
- [7] Mathewa BK, Velmurugan C. Evaluation of TIG welding parameters using statistical methods to optimize the mechanical properties of stainless steel – SS304. *AIP Conference Proceedings* 2022;2446(1):16006.
- [8] Manikandan M, Nageswara RM, Ramanujam R, Ramkumar D, Arivazhagan N, Reddy GM. Optimization of the pulsed current gas tungsten arc welding process parameters for alloy C-276 using the taguchi method. *Procedia Engineering* 2014;97:767-74.
- [9] Pashazadeh H, Gheisari Y, Hamedi M. Statistical modeling and optimization of resistance spot welding process parameters using neural networks and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing* 2016;27(3):549-59
- [10] Ampaiboon A, Lasunon O, Bubphachot B. Optimization and prediction of ultimate tensile strength in metal active gas welding. *The Scientific World Journal* 2015;2015: 831912.

- [11] Naik AB, Reddy AC. Optimization of tensile strength in TIG welding using the Taguchi method and analysis of variance (ANOVA). Thermal Science and Engineering Progress 2018;8:327-39.
- [12] Sridhara SNS, Allada SCS, Sai PVS, Banala S, Subbiah R, Marichamy S. Tensile strength performance and optimization of Al 7068 using TIG welding process. Materials Today: Proceedings 2021;45(Pt 2):2017-21.
- [13] Khantongkum S, Thanasuptawee U, Promdan W, Siwadamrongpong S. Mechanical properties of weld joint by friction stir welding on aluminum alloy 5083. Proceedings of 10th International Conference on Mechatronics and Control Engineering (ICMCE 2021); 2021 Jul 26-28; Lisbon, Portugal. Singapore: Springer; 2023. p. 37-42.
- [14] Teng-Hongcharoen S, Promkochasut C. Welding process. Bangkok: Academic Support Center; 2013. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



กิตติ วิโรจรัตนภาพิศาล อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิศวกรรม
อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ตาก โทรศัพท์ 086-9270478 E-mail: Kittiw@rmutl.ac.th



อุกฤษฏ์ รัตนทรัพย์ทวี อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิศวกรรม
อุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ตาก โทรศัพท์ 055-515900 E-mail: t.ukrit@edu.rmutl.ac.th



ชีวพล นิตยัณรธา อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาเทคโนโลยี
วิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โทรศัพท์ 087-9208564 E-mail:
chiwapon.n@cit.kmutnb.ac.th



จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร อาจารย์ประจำหลักสูตร สาขาวิศวกรรม
อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี โทรศัพท์ 081-5470993 E-mail: jittiwat.ni@rmuti.ac.th



พันทิวา พวงสาลี นักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ อุทยานวิทยาศาสตร์
ประเทศไทย โทรศัพท์ 083-2555517 E-mail: nuttorakung@hotmail.com

Article History:

Received: February 28, 2023

Revised: July 12, 2023

Accepted: July 13, 2023