

การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการหาความเหมาะสมในการเชื่อมพื้น ดาดฟ้าเรือขนส่งสินค้า

ปรัชญา เพียสุระ^{1*} และภาสพิชญ์ ชูใจ²
prachya.pea@kmutt.ac.th^{1*}, pasapitch.chu@kmutt.ac.th²

^{1*} ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

² ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Received	: 4-Sep-2019
Revised	: 28-Oct-2019
Accepted	: 30-Oct-2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาความเหมาะสมในการเชื่อมพื้นดาดฟ้าเรือขนส่งสินค้าด้วยกระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ในเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด ASTM A131 EH36 โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึงด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม ชนิดการแพร่ค่าย้อนกลับ ลักษณะการเรียนรู้แบบมีผู้สอน มีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม หลังจากทำการเชื่อมได้มีการทดสอบค่าความเค้นแรงดึง การตัดโค้ง การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยวิธีฝึกสอนอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ค ฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน และชนิดการเคลื่อนลงตามความชันด้วยโมเมนต์มัม รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น ในงานวิจัยได้ใช้ฟังก์ชันลอก-ซิกมอยด์สำหรับชั้นนำเข้า ฟังก์ชันแทน-ซิกมอยด์สำหรับชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 ฟังก์ชันเพียวรินสำหรับชั้นผลลัพธ์ ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง ประกอบด้วยนิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 8 นิวรอน นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 10 นิวรอน และนิวรอนในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน (3-8-10-1) ชนิดของฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสองที่ 0.000106 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ 0.99947 สถานะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่กระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที

คำสำคัญ: แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม พื้นดาดฟ้าเรือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์

Application of Artificial Neural Network Model for Optimization in Main Deck Cargo Ship Welding

Prachya Peasura^{1*} and Pasapitch Chuja²
prachya.pea@kmutt.ac.th^{1*}, pasapitch.chu@kmutt.ac.th²

^{1*} Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Technology Education, King Mongkut's University of Technology Thonburi

² Department of Electrical Technology Education, Faculty of Industrial Technology Education, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Received	: 4-Sep-2019
Revised	: 28-Oct-2019
Accepted	: 30-Oct-2019

Abstract

This research proposes the optimization of main deck cargo ship welding with submerge arc welding process (SAW) in high strength steel ASTM A131 EH36 grade. The mathematic modeling for tensile strength predicting was based on the artificial neural networks (ANN) with back-propagation learning algorithm and supervised learning. The SAW process parameters were studied the welding current, voltage and travel speed. The resulting SAW welding specimens were examined using tensile strength tests, bending tests which were observed microstructure with scanning electron microscopy (SEM) and determine a suitable mathematic model. The Levenberg-Marquart training algorithm was also train for weight and bias network. The two learning function, including learning gradient descent (Learngd) and learning gradient descent with momentum (Learnghm) were used in ANN model. The activation function of log-sigmoid for input layer, tan-sigmoid for hidden layer of 1 and 2, purelin for output layer was assigned. The research results reveal that using a ANN model with the proposed mathematical model, which represents 3 neurons for the input 8 neurons for layer 1 layer 2 for 10 neurons and 1 neuron for output layer (3-8-10-1) with learning function of Learnghm. The mean square error (MSE) of ANN model is 0.000106 and the coefficient of determination (R^2) is 0.99947. The optimum from ANN model were welding current of 340 amperes, 26 volts, and 20 centimeter/minute travel speed.

Keywords: Artificial Neural Network Model, Main Deck Ship, High Strength Steel, Submerge Arc Welding Process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมท่อเรือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจ มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมต่อเนื่อง ธุรกิจที่เกี่ยวข้องโดยตรงได้แก่ ธุรกิจการขนส่งทางน้ำ ประเทศไทยพึ่งพาการค้าระหว่างประเทศเป็นหลัก ปริมาณการค้าระหว่างประเทศอาศัยการขนส่งทางน้ำ ดังนั้น อุตสาหกรรมท่อเรือและซ่อมเรือจึงเป็นอุตสาหกรรมที่สนับสนุนกิจการเดินเรือขนส่งให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ตลาดอุตสาหกรรมและซ่อมเรือในประเทศไทยเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง งานในอุตสาหกรรมท่อเรือแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คืองานท่อเรือใหม่และงานซ่อมเรือเก่า ซึ่งอุตสาหกรรมงานเชื่อมมีบทบาทอย่างมากในอุตสาหกรรมท่อเรือ [1]

การเพิ่มขึ้นของการใช้เรือขนส่งสินค้าในประเทศไทย และต่างประเทศส่งผลให้ปริมาณเรือที่เข้ามาต่อเรือและซ่อมแซมมีมากขึ้นด้วย โดยสินค้าที่นิยมใช้การขนส่งทางน้ำ คือน้ำมันและแก๊ส สำหรับพื้นดาดฟ้าเรือ(Main Deck) มีการผลิตจากเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เนื่องจากต้องการความทนทานต่อแรงที่มากกระทำทางกล เนื่องจากบริเวณดังกล่าวติดกับถังบรรจุสินค้า (Cargo Tank) [1] เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด ASTM A131 EH36 เป็นเหล็กกล้าที่นิยมใช้ในการเชื่อมเรือขนส่งสินค้า เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ความสามารถในการเชื่อมดี กระบวนการเชื่อมที่นิยมใช้ คือ กระบวนการเชื่อมได้ฟลักซ์ เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมแบบอัตโนมัติจึงช่วยลดระยะเวลาในการเชื่อม มีการหลอมละลายลึกสูง เหมาะสำหรับการเชื่อมเหล็กแผ่นหนา สำหรับปัญหาที่พบในกระบวนการเชื่อม คือ การบิดงอของชิ้นงาน [2] มีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ได้แก่ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเชื่อม การกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากการเชื่อม ลักษณะรอยต่อของชิ้นงาน โดยถ้าวัสดุเชื่อมในสถานะที่ไม่เหมาะสมดังกล่าวจะทำให้ วัสดุมีความเค้นสูงจนเกินจุดคราก ทำให้วัสดุมีการบิดงออย่างถาวร และเกิดความเค้นตกค้าง [2] ในแนวเชื่อม ความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นจากการเชื่อมในระหว่างการต่อเรือเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น เพราะความเค้นตกค้างเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการแตกหัก และทำให้เพิ่มการโก่งเดาะ ที่เกิดขึ้นในการเชื่อมเรือ รายงานวิจัยของ L. H. S. Barbosa et al. [3] ได้ศึกษาปริมาณความร้อนที่ส่งผลกระทบต่อการแตกร้าวในการเชื่อมได้ฟลักซ์โดยผลวิจัยได้บ่งบอกว่าเมื่อปริมาณความร้อนเข้าในชิ้นงานสูงส่งผลให้ชิ้นงานเชื่อมมีโอกาสในการเกิดการแตกร้าวสูง เช่นเดียวกับ L. Pavel et al. [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่ใช้ในการเชื่อมเรือด้วยกระบวนการเชื่อมได้ฟลักซ์ พบว่าปริมาณความร้อนของการเชื่อมส่งผลให้ธาตุผสมเช่น อลูมิเนียม ไททาเนียม ไนโอเบียม ตกผลึกเป็นเฟสที่สองสามารถป้องกันกา

ขยายตัวของเกรนได้ รายงานวิจัยของ T. Messias et al. [5] ได้ศึกษาความสามารถในการเชื่อมของวัสดุ ASTM A131 ที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คได้ฟลักซ์ R. Youmin et al. [6] รายงานผลการเชื่อมเรือด้วยเลเซอร์ในวัสดุ EH36 พบว่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมโครงสร้างจุลภาค และความเค้นตกค้างในวัสดุ X. R. Li et al. [7] ได้รายงานผลการศึกษาคอมพิวเตอร์จำลองผลของการเชื่อมได้ฟลักซ์ผลของกระแสไฟฟ้าส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมหลอมละลายลึกมากที่สุด C. Emy et al. [8] ได้ทำนายอายุการแตกหักเนื่องจากความล้าของการเชื่อมชิ้นส่วนเรือพบว่าพารามิเตอร์ในการเชื่อมมีส่วนสำคัญสำหรับอายุการใช้งานของชิ้นส่วนต่างๆ เช่นเดียวกับรายงานวิจัยของ L. Li et al. [9] พบว่าบริเวณโครงสร้างที่เกิดความเสียหายจากการสั่นสะเทือนเป็นบริเวณการเชื่อมที่เกิดความเค้นตกค้างสูงส่งผลให้ส่งผลให้เกิดการแตกร้าว ดังนั้นจะต้องทำการออกแบบพารามิเตอร์ในการเชื่อมให้เหมาะสมเพื่อลดปัญหาจากการเกิดความเค้นตกค้างขณะทำการเชื่อม

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) ได้มีการประยุกต์ใช้สำหรับการเชื่อมในหลายกระบวนการ ในการพยากรณ์ข้อมูล เช่น ค่าความแข็ง ค่าความเค้นแรงดึง ขนาดรอยเชื่อม เป็นต้น รายงานวิจัยของ K. Zhang et al. [10] ได้สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการเชื่อมเลเซอร์แบบเดิมลวดเชื่อม A. Bagchi et al. [11] ได้สร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และหาความเหมาะสมในการเชื่อม Hastelloy C-276 ด้วยการเชื่อมเลเซอร์ A. Sarka et al. [12] ได้เปรียบเทียบแบบจำลองแบบมัลติเพิลรีเกรสชัน และแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ลักษณะของรอยเชื่อมและความกว้างของเขตอิทธิพลความร้อนในการเชื่อมเหล็กกล้า L. Yu et al. [13] ได้ออกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นในบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนของเหล็กกล้าผสมต่ำด้วยการเชื่อมเลเซอร์ รายงานการวิจัยของ D. Zhao et al. [14] ได้ ออกแบบการทดลองแบบแพททอเรียลและสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมความต้านทานชนิดจุด จากรายงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง ลักษณะรอยเชื่อม ความเค้นตกค้าง เป็นต้น ในวัสดุประเภทอื่น เช่น อลูมิเนียม เหล็กกล้าคาร์บอน นิกเกิลเบสซูเปอร์อัลลอยด์และกระบวนการเชื่อมอื่น ยังไม่ได้มีงานวิจัยใดที่ได้ประยุกต์ใช้งานสำหรับการเชื่อมได้ฟลักซ์ ใน เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ASTM A131 EH36

งานวิจัยและปัญหาที่ผ่านพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับการเชื่อมเรือเกิดจากความเค้นตกค้างที่เกิดจากสภาวะในการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคที่แตกต่างจากบริเวณรอยเชื่อม (Weld Metal) และบริเวณชิ้นงาน (Base Metal) ผลกระทบจากการได้รับความร้อนขณะทำการเชื่อมส่งผลให้ความเหนียว บริเวณเขตอิทธิพลความร้อนลดลงทำให้มีโอกาสเกิดการแตกร้าวได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายค่าความเค้นแรงดึง โดยนำออกแบบการทดลองสถิติแบบ 2^3 แฟกทอเรียล มาประยุกต์ใช้ในการสร้างข้อมูลเพื่อหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จากนั้นหาความเหมาะสมในงานเชื่อม โดยการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค การทดสอบตัดโค้ง อีกทั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถนำไปทำนายค่าความเค้นแรงดึง และข้อมูลที่ได้จากการวิจัยนำไปใช้กำหนดการบันทึกการรับรองคุณภาพกระบวนการเชื่อม (Procedure Qualification Test Record, PQR) และข้อกำหนดรายละเอียดงานเชื่อม (Welding Procedure Specification) ให้รอยเชื่อมเชื่อมมีคุณภาพ มีสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาคที่มีความเหมาะสมในการใช้งานลดต้นทุนในการจัดทำข้อกำหนดรายละเอียดงานเชื่อมต่อไป

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุและการเตรียมชิ้นงานในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด ASTM A131 EH36 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่นิยมใช้ในงานโครงสร้างเรือ ความหนา 6 มิลลิเมตร มีส่วนผสมทางเคมีดังแสดงในตารางที่ 1 การเตรียมชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมนำเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงมาตัดให้ได้ชิ้นงานทดสอบขนาด $75 \times 200 \times 6$ มิลลิเมตร ทำการบากร่องวี (V-Joint) มุม 60 องศา ผิวหน้าของรอยขอบชิ้นงานส่วนฐาน (Root Face) 2 มิลลิเมตร ระยะเว้น (Root Opening) 2 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุ ASTM A131 EH36 (Weight %)

C	Mn	Si	P	S
0.18	1.51	0.49	0.030	0.028

2.2 กระบวนการเชื่อม

การดำเนินการวิจัยได้ใช้กระบวนการเชื่อมใต้ฟลักซ์ (Submerged Arc Welding : SAW) โดยมีข้อกำหนด

ในการเชื่อมดังนี้ ท่าเชื่อม (Position) ท่าราบ (Flat Position) เชื่อมด้วยกระแสไฟฟ้า (Polarity) ชนิดกระแสตรงขั้วบวก (DCEP) ลวดเชื่อมชนิด F7A2-EM12K (0.14%C, 1.12%Mn, 0.31%Si, Weight %) เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.00 มิลลิเมตร ระยะยื่นอิเล็กโทรด (Electrode Extension) 15 มิลลิเมตร ระยะอาร์ค (Arc Length) 2 มิลลิเมตร มุมอิเล็กโทรด (Electrode Angle) 90 องศา โดยใช้ทองแดงเป็นแผ่นรองหลัง (Backing Bar)

2.3 การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล

การเตรียมข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ได้ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล รูปแบบ 2^3 โดยรูปแบบการทดลองนี้ได้กำหนดปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ แฟกทอเรียล คือ ระดับสูงและระดับต่ำ [15] เนื่องจากการศึกษาข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงมาตรฐานการเชื่อมต่างๆ ได้มีการระบุช่วงของปัจจัยที่จะส่งผลให้สมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในตารางที่ 2 การดำเนินการวิจัยในแต่ละสิ่งทดลอง (Treatment) ทำการทดลองเชื่อม 3 ครั้ง แบบสุ่ม ดังนั้นมีจำนวนชิ้นงานเชื่อมทั้งหมด 24 ชิ้น

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัย	สัญลักษณ์	ต่ำ	สูง	หน่วย
กระแสไฟฟ้า	X_1	320	340	แอมแปร์
แรงดันไฟฟ้า	X_2	24	26	โวลต์
ความเร็วในการเชื่อม	X_3	20	22	เซนติเมตรต่อนาที

2.4 การทดสอบสมบัติทางกล

หลังจากการเชื่อมตามรูปแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแล้ว ชิ้นงานเชื่อมทั้ง 24 ชิ้นนำมาทำการทดสอบค่าความเค้นแรงดึง โดยมีการเตรียมชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 [16] ทำการกัดชิ้นงาน และเจียรตรงส่วนโค้งของชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานกำหนด นำชิ้นงานไปทำการทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Tester) ด้วยความเร็วในการดึง 50 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อที่นำค่าความเค้นแรงดึงที่ได้จากการทดสอบนำมาสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม จากนั้นทำการเชื่อมชิ้นงานมีสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสม และทำการทดสอบการตัดโค้ง โดยทำการเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM E290 - 14 ขนาดความกว้าง 40 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร จากนั้นทำการเจียรผิวรอยหน้ารอยเชื่อมและรอยร้าวให้เรียบ และทำการทดสอบการ

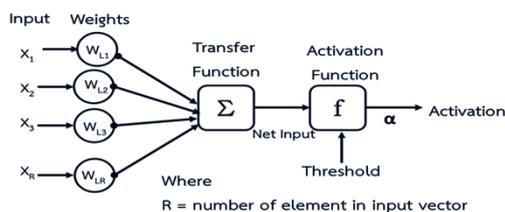
ตัดโค้งเพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์บริเวณผิวรอยราก (Root Bend) และผิวหน้ารอยเชื่อม(Face Bend)

2.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

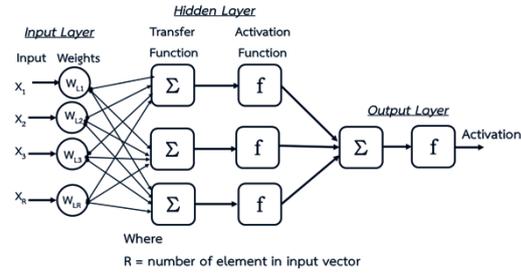
การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานโดยนำชิ้นงานมาขัดด้วยกระดาษทรายแบบสายพาน เพื่อปรับผิวหน้าชิ้นทดสอบและทำการขัดกระดาษทรายเบอร์ 180 ถึงเบอร์ 1200 จากนั้นนำชิ้นงานด้วยเครื่องขัดผิวมันโดยใช้สารขัดผิวอลูมิน่า 1 ไมครอน นำชิ้นงานมากัดขึ้นรอย (Etching) โดยใช้กรดไนตริก 2 มิลลิลิตร และเมทานอล 98 มิลลิลิตร จากนั้นถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และการวัดเปอร์เซ็นต์ของโครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์ ทำการวัดด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค(Image analyzer) ใช้โปรแกรม Leica MW โดยการถ่ายภาพบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน การถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อมบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน และการวิเคราะห์การแตกหักของวัสดุ

3. การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) เป็นการคำนวณเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neural) ซึ่งจำลองมาจากการทำงานของระบบสมองมนุษย์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function, f) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight, w) และค่าไบแอส(Bias, b) เป็นเครื่องมือจำลองคุณสมบัติของเซลล์ประสาท โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single Layer Neural Network) ดังแสดงในรูปที่ 1 และโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi-Layer Neural Network) ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบไปด้วยชั้นนำเข้า(Input Layer) ชั้นซ่อน(Hidden Layer) และชั้นแสดงผล(Output Layer)

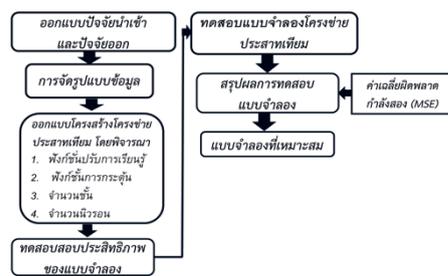


รูปที่ 1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว



รูปที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โครงข่ายประสาทเทียม ในงานวิจัยได้เลือกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมชนิดการแพร่ค่าย้อนกลับ ลักษณะการเรียนรู้แบบมีผู้สอน มีปัจจัยนำเข้า 3 ปัจจัย ได้แก่กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม จากนั้นทำการออกแบบทดลองแบบแฟคทอเรียล รูปแบบ 2^3 ปัจจัยส่งออก คือ ค่าความเค้นแรงดึง จากนั้นทำการออกแบบโครงข่ายแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม โดยพิจารณาจาก 4 องค์ประกอบได้แก่ ฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ ฟังก์ชันการกระตุ้น จำนวนชั้น และจำนวนนิวรอน จากนั้นทำการทดสอบแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง และทำการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดจากค่าความผิดพลาดกำลังสอง(Mean Square Error, MSE) แผนผังการดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการดำเนินการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

3.1 การออกแบบปัจจัยนำเข้าและปัจจัยส่งออก

ข้อมูลสำหรับการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เป็นข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล รูปแบบ 2^3 โดยมีปัจจัยนำเข้า (Input) 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม ปัจจัยส่งออก (Output Layer) 1 ปัจจัย ได้แก่ ค่าความเค้นแรงดึง จำนวนข้อมูลทั้งหมด 24 ค่า

3.2 การจัดรูปแบบข้อมูลในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การจัดรูปแบบข้อมูลสำหรับการฝึกสอน(Training) และทดสอบ(Test) จากค่าที่ได้จากการทดสอบค่าความเค้นแรงดึงตามรูปแบบการทดลองแฟคทอเรียล เนื่องจากข้อมูลที่ได้แต่ละสิ่งทดลอง (Treatment) มีความแตกต่างกันซึ่งจำทำให้การสร้างแบบจำลองเกิดความคลาดเคลื่อนมากจึงมีความจำเป็นต้องหาค่าต่ำสุด และสูงสุดของกลุ่มข้อมูล จากนั้นทำการลดทอนขนาดของข้อมูลให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการนำไปฝึกสอน และทดลองจากจำนวนรอบในการวนซ้ำ (Epoch)=1,000 โดยแปลงข้อมูลให้มีค่าระหว่าง 0-1 โดยใช้สมการ (1)

$$Y = \frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \quad (1)$$

ภายหลังจากข้อมูลได้ดำเนินการฝึกสอนและทดสอบ ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมแล้วข้อมูลที่ได้จะต้องถูกแปลงค่ากลับเป็นค่าจริงจากสมการที่ (2)

$$Y = [Y_i(Y_{\max} - Y_{\min}) + Y_{\min}] \quad (2)$$

โดยที่ Y คือ ข้อมูลที่ได้รับการแปลงค่า

Y_i คือ ข้อมูลการทดลองที่ i

Y_{\min} คือ ข้อมูลการทดลองที่มีค่าน้อยที่สุด

Y_{\max} คือ ข้อมูลการทดลองที่มีค่ามากที่สุด

3.3 การออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียม

การออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมฝึกสอนด้วยอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ค (Levenberg-Maquartm Algorithm) ฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ (Learning Function) ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน (Learning Gradient Descent, Learngd) และชนิดการเคลื่อนลงตามความชันด้วยโมเมนตัม (Learning Gradient Descent with Momentum, Learnghm) รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น(Activate Function) ในงานวิจัยได้ใช้ฟังก์ชันลอก-ซิกมอยด์(log-sigmoid) สำหรับชั้นนำเข้า ฟังก์ชันแทน-ซิกมอยด์(tan-sigmoid) สำหรับชั้นซ่อนที่ 1 และชั้นซ่อนที่ 2 และฟังก์ชันเพียวริน(purelin) สำหรับชั้นผลลัพธ์(Output layer) เพื่อที่จะได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยที่สุด(Mean Square Error, MSE) สำหรับฟังก์ชันการถ่ายโอนในแต่ละชั้นสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3)-(5)

$$a = \text{Logsig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (3)$$

$$a = \text{Tansig}(n) = \frac{2}{1 + e^{-2n}} - 1 \quad (4)$$

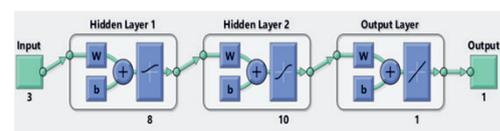
$$a = \text{Purelin}(n) \quad (5)$$

งานวิจัยได้ออกแบบโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั้งรูปแบบที่มีชั้นซ่อนเดียว และสองชั้นซ่อน มีการปรับเปลี่ยนฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ทั้งสองรูปแบบ โดยมีรูปแบบการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมทั้งสิ้น 16 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมทั้ง 16 รูปแบบ

No. Neuron	MSE	
	Learngd	Learnghm
3-4-1	0.071686	0.054746
3-6-1	0.071687	0.067328
3-8-1	0.000113	0.000452
3-10-1	0.000119	0.000763
3-8-4-1	0.081263	0.000543
3-8-6-1	0.000165	0.000875
3-8-8-1	0.000110	0.000231
3-8-10-1	<u>0.000106</u>	0.000176

การเลือกโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง (MSE) ที่น้อยที่สุด จากตารางที่ 3 พบว่าโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึง คือ 3-8-10-1 ประกอบด้วยนิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 8 นิวรอน นิวรอนในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 10 นิวรอน และนิวรอนในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน อยู่ในฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ (Learning Function) ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน (Learngd) มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสองเท่ากับ 0.000106 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมของการทำนายค่าความเค้นแรงดึง

3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะพิจารณาจากค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสอง และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ดังแสดงในสมการ (6) และ (7)

โดยที่ ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - A_i)^2}{N} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (T_i - A_i)^2}{\sum_{i=1}^N (T_i - A)^2} \quad (7)$$

โดย T คือ ผลลัพธ์เป้าหมาย A คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนาย และ N คือ จำนวนข้อมูล

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

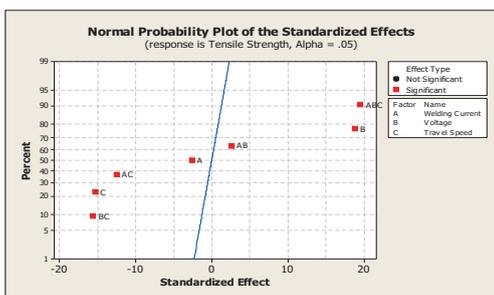
4.1 การวิเคราะห์ค่าความเค้นแรงดึงจากแพคทอเรียล

ชิ้นงานที่ได้หลังจากการเชื่อมตามการออกแบบการทดลองแบบแพคทอเรียล นำไปทดสอบค่าความเค้นแรงดึง ซึ่งการทดสอบค่าความเค้นแรงดึงโดยใช้แรงดึงดึงวัสดุอย่างช้าๆ ทำให้วัสดุยึดออกจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด แล้วบันทึกความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้นดึงกับความเครียด และเป็นข้อกำหนดการเชื่อมที่จะต้องมีการทดสอบหลังจากการเชื่อม เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาถึงความเหมาะสมของสภาวะการเชื่อม จากนั้นนำผลการทดสอบมาทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความปกติของข้อมูล วิเคราะห์หือทธิพลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความเค้นแรงดึง โดยมีผลการวิจัยดังนี้

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเค้นแรงดึง

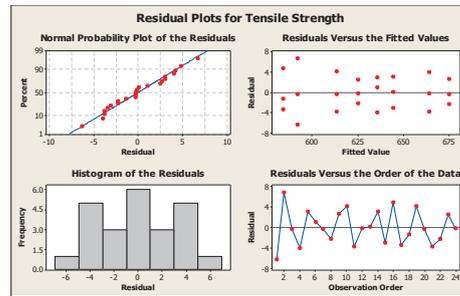
Source	DF	Seq. SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
Main Effects	3	9482.3	9482.35	3160.78	198.01	0.000
Interaction	3	6480.1	6480.05	2160.02	135.32	0.00
Residual Error	16	255.4	255.40	15.96		
Pure Error	1	255.4	255.40	15.96		
Total	23	22313.9				

$R^2 = 98.86\%$ $R^2(\text{adj.}) = 98.35\%$



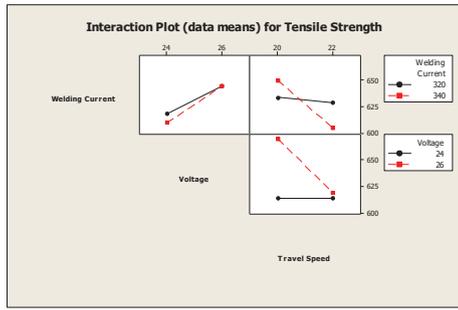
รูปที่ 5 การแจกแจงความปกติของอิทธิพลปัจจัย

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเค้นแรงดึง พบว่าปัจจัยที่ทำการวิจัยได้แก่ กระแสไฟฟ้า(A) แรงดันไฟฟ้า(B) และความเร็วในการเชื่อม(C) ส่งผลกระทบรวมต่อค่าความเค้นแรงดึงของชิ้นงาน มีค่า P-Value = 0.000 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแสดงในรูปที่ 5 พบว่าทุกปัจจัยทั้งปัจจัยหลัก(A, B, C) ปัจจัยร่วม(AB, AC, BC, ABC) มีผลกระทบต่อค่าความเค้นแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ ทุกปัจจัย มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน $R^2(\text{adj.}) = 98.35\%$ ความเป็นไปได้ของการพยากรณ์เมื่อนำปัจจัยทั้งหมดมารวมกันมีความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์



รูปที่ 6 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลหลังจากการทดลอง ดังรูปที่ 6 พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot of the Residuals) ข้อมูลจากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับเส้นแจกแจงแบบปกติ ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลพิจารณาได้จากฮิสโตแกรม (Histogram of the Residuals) พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวเป็นรูปทรงแบบปกติจึงทำให้ประมาณได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ สำหรับแผนภูมิการกระจายเทียบกับค่าประมาณ (Residuals Versus the Fitted Values) พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่าความผิดพลาดไม่ได้มีลักษณะแบบกรวยปลายเปิด หรือรูปแบบลำโพงจึงถือว่าการกระจายตัวแบบปกติ แผนภูมิการกระจาย(Residuals Versus the Order of the Data) เป็นการตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าความคลาดเคลื่อน พบว่าการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนมีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) [17] ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือได้

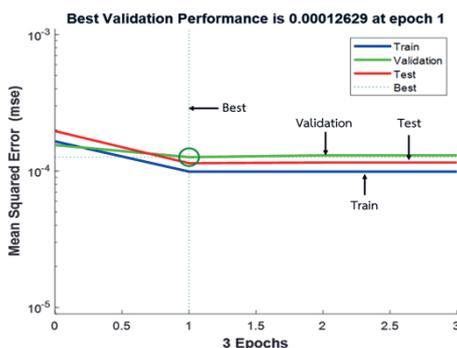


รูปที่ 7 ผลกระทบร่วมของปัจจัยกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม

จากรูปที่ 7 เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความเค้นแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ คือ ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเดินแนว พบว่าระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ที่กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการเชื่อม 340 แอมแปร์ แรงดันที่ใช้ในการเชื่อม 26 โวลต์ และความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที

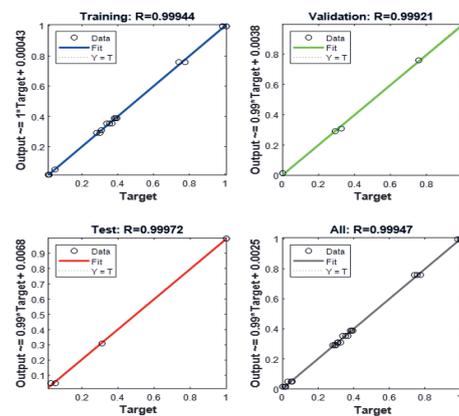
4.2 การวิเคราะห์แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

การพยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึงที่มีความถูกต้องและแม่นยำสูงมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับงานเชื่อมตาดฟ้าเรือขนส่งสินค้า เพื่อที่จะได้ค่าความเค้นแรงดึงที่เหมาะสมในการใช้งาน การรับแรงสถิตย์ที่จะกระทำกับรอยเชื่อมไม่ให้เกิดความเสียหาย แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีประสิทธิภาพการพยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึง ประกอบด้วยจำนวนนิรอนในชั้นอินพุต 3 นิรอน จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่ 1 จำนวน 8 นิรอน จำนวนนิรอนในชั้นซ่อนที่ 2 จำนวน 10 นิรอน และจำนวนนิรอนในชั้นแสดงผล 1 นิรอน (3-8-10-1) ชนิดของฟังก์ชันปรับการเรียนรู้ ที่เหมาะสมของแบบจำลอง คือ ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน (Leangd) ซึ่งส่งผลให้มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด เท่ากับ 0.000106 โดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบเลเวนเบิร์ก-มาร์ก รูปแบบฟังก์ชันการกระตุ้น คือ ลอก-ซิกมอยด์ สำหรับชั้นนำเข้า ฟังก์ชันแทน-ซิกมอยด์ สำหรับชั้นซ่อนทั้งสองชั้น และฟังก์ชันเพียวรินสำหรับชั้นผลลัพธ์



รูปที่ 8 ประสิทธิภาพการตรวจสอบความถูกต้องและค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง

จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองสามขั้นตอน คือ การฝึกสอน (Train) การตรวจสอบ (Validation) และทดสอบ (Test) ความผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสองของโครงข่ายประสาทเทียมมีค่ามากเริ่มต้นและลดลงต่อเนื่อง กระบวนการฝึกสอนการเรียนรู้จะดำเนินต่อไปตามลำดับจนกว่าตัวแบบจะไปถึงตำแหน่งที่การฝึกสอนจะช่วยลดการผิดพลาดซ้ำของโครงข่ายประสาทเทียม การตรวจสอบความถูกต้องของค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจะช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาแบบจำลองจตุรรูปแบบของข้อมูลฝึกสอนมากเกินไป (Over Fitting) ทำให้ไม่สามารถทำนายข้อมูลอื่นได้ ประสิทธิภาพการตรวจสอบที่ดีที่สุด (Best) เกิดขึ้นที่รอบในการวนซ้ำ (Epoch) ที่ 1 และหลังจากเกิดข้อผิดพลาดซ้ำ 2 ครั้ง กระบวนการจะหยุดที่ รอบในการวนซ้ำ ที่ 3 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกระบวนการเรียนรู้ การตรวจสอบ และการทดสอบของชุดข้อมูลมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของผลลัพธ์เป้าหมายและผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม

จากรูปที่ 9 ความสัมพันธ์ของผลลัพธ์เป้าหมายผลลัพธ์ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลองจากโครงข่ายประสาทเทียม มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการทดสอบที่ 0.99944 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการตรวจสอบที่ 0.99921 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสำหรับการทดสอบที่ 0.99972 และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจรวมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่ 0.99947 โดยมีความชันเท่ากับ 0.99 และตัดแกน y ที่ 0.0025 มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ 0.000106 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ต่ำที่สุด

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่าแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเป็นเชิงเส้นแสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลอง โดยโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแก้ปัญหาการเกิดแบบจำลองจตุรรูปแบบของข้อมูลฝึกสอนมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถทำนายข้อมูลอื่นได้ ถึงแม้ว่าการแบ่งข้อมูลใน

การฝึกสอน แต่ทุกข้อมูลสามารถได้รับการฝึกสอนทั้งหมด ดังนั้นข้อมูลจำนวน 24 การทดลอง จึงมีความเพียงพอในการสร้างแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมในการพยากรณ์ค่าความเค้นแรงดึงในการเชื่อมตาดฟ้าเรือขนส่งสินค้า ได้อย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ

4.3 การวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการเชื่อม

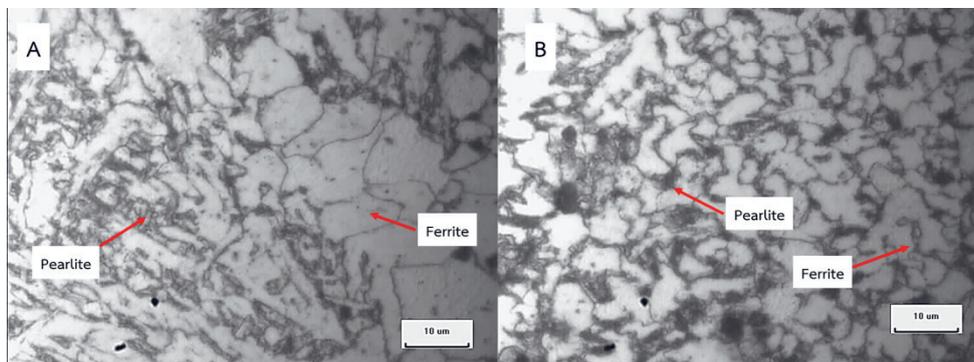
การพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเชื่อมตาดฟ้าเรือขนส่งสินค้าด้วยเหล็กกล้า ASTM A131 EH36 เพื่อจัดทำข้อกำหนดรายละเอียดงานเชื่อม (WPS) ให้เป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบ การสร้าง และการตรวจสอบ ในการเชื่อมประกอบโครงสร้างเรือ จากผลการเชื่อมและการทดสอบค่าความเค้นแรงดึงทั้ง 24 ชิ้นงาน รวมถึงการวิเคราะห์จากวิธีการแฟคทอเรียล และวิธีการโครงข่ายประสาทเทียม พบว่าที่กระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่ออนาที มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่ 663.25 เมกะปาสคาล แต่ในการพิจารณา

ถึงความเหมาะสมจะพิจารณาจากค่าความเค้นแรงดึงเพียงอย่างเดียวไม่ได้จะต้องพิจารณาจากโครงสร้างจุลภาค รวมถึงการทดสอบการดัดโค้ง (Bend Test) ดังนั้นในงานวิจัยจึงทำการยืนยันผลการทดลองอีกครั้งโดยทำการทดลองเชื่อม 3 ชิ้นงาน เพื่อทำการทดสอบค่าความเค้นแรงดึง การทดสอบการดัดโค้ง และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค ผลการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

4.3.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

เปรียบเทียบกับค่าความเค้นแรงดึง

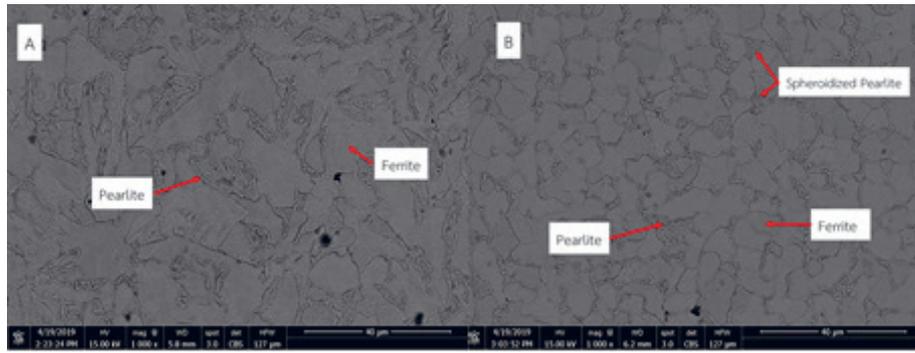
ชิ้นงานหลังจากการเชื่อมจะนำมาทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด บริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (Heat Affected Zone, HAZ) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีความแข็งแรงน้อยที่สุด และทุกชิ้นเกิดการขาดบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน



รูปที่ 10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (A) 320 แอมแปร์ 24 โวลต์ และ 22 ซม/นาที (B) 340 แอมแปร์ 26 โวลต์ 20 ซม/นาที กระแสไฟ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม ตามลำดับ

รูปที่ 10 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนพบว่าโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเฟอร์ไรท์ที่เป็นเฟสพื้น และโครงสร้างเพิร์ลไลต์ จากรูปที่ 10(A) เชื่อมด้วยกระแสไฟ 320 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 22 เซนติเมตรต่ออนาที เป็นสภาวะการเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดที่ 582.32 เมกะปาสคาล เนื่องจากมีปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานปริมาณน้อยมีลักษณะของโครงสร้างพื้นเป็นเฟอร์ไรท์ มีเพิร์ลไลต์ที่หยาบ ขนาดเกรนใหญ่ พบว่ามีปริมาณของเพิร์ลไลต์ที่ 36.48 % สำหรับสภาวะการ

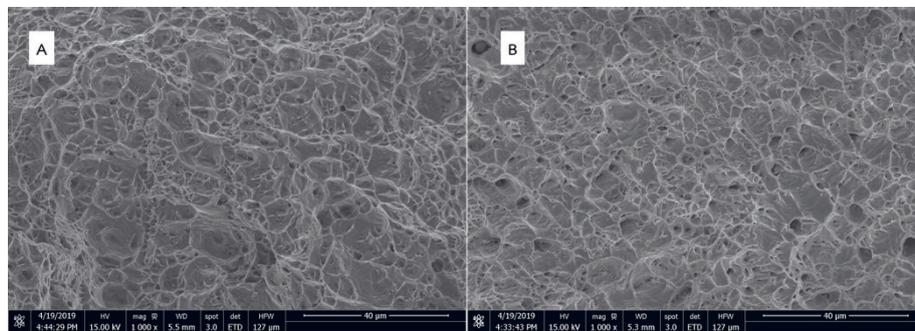
เชื่อมดังรูปที่ 10(B) เชื่อมด้วยกระแสไฟ 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่ออนาที เป็นชิ้นงานเชื่อมที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด เนื่องจากปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานเพียงพอทำให้อัตราการเย็นตัวสูงทำให้โครงสร้างพื้นเป็นเฟอร์ไรท์ และเพิร์ลไลต์ที่ละเอียด ขนาดเกรนละเอียด [18] มีปริมาณของเพิร์ลไลต์ในชิ้นงานที่ 57.83% จึงส่งผลให้มีค่าความแข็งแรงสูง



รูปที่ 11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน (A) 320 แอมแปร์ 24 โวลต์ และ 22 ชม/นาที่ (B) 340 แอมแปร์ 26 โวลต์ 20 ชม/นาที่ กระแสไฟ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม ตามลำดับ

รูปที่ 11 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณเขตอิทธิพลความร้อนของชิ้นงานเชื่อมพบโครงสร้างเฟอร์ไรท์ และเพิร์ลไลต์ จากรูปที่ 11(A) เชื่อมด้วยกระแสไฟ 320 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 22 เซนติเมตรต่อนาที แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างลักษณะของเพิร์ลไลต์หยาบมีขนาดใหญ่ ลักษณะของเกรนหยาบ เนื่องจากชิ้นงานเชื่อมมีสภาวะการเชื่อมที่มีปริมาณความร้อนเข้าไปในชิ้นงานปริมาณน้อยส่งผลให้การเรียงตัวของเพิร์ลไลต์ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้เพิร์ลไลต์หยาบและเกรนหยาบ มีผลให้ชิ้นงานมีสมบัติทางกลที่ลดลงซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Weijun H. [19] ดังนั้นชิ้นงานเชื่อมสภาวะนี้จึงมีค่าความเค้นแรงดึง และค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด

สำหรับชิ้นงานที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด ดังรูป 11(B)เชื่อมด้วยกระแสไฟ 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที พบว่ามีโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์ละเอียด เกรนมีความละเอียด มีการกระจายตัวกันอย่างหนาแน่น รวมถึงการเกิดเพิร์ลไลต์ในลักษณะกลม (Spheroidized Pearlite) เนื่องจากสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานที่เพียงพอทำให้อัตราการเย็นตัวสูงส่งผลให้เพิร์ลไลต์สามารถเกิดได้อย่างหนาแน่นละเอียด และเพิร์ลไลต์บางส่วนรวมตัวกันในลักษณะกลม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sergey G.[20] และ Minwoo K. [21] ส่งผลทำให้วัสดุมีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น



รูปที่ 12 ลักษณะการแตกหักที่ถ่ายภาพด้วย SEM (A) 320 แอมแปร์ 24 โวลต์ และ 22 ชม/นาที่ (B) 340 แอมแปร์ 26 โวลต์ 20 ชม/นาที่ กระแสไฟ แรงดันไฟฟ้า และความเร็วในการเชื่อม ตามลำดับ

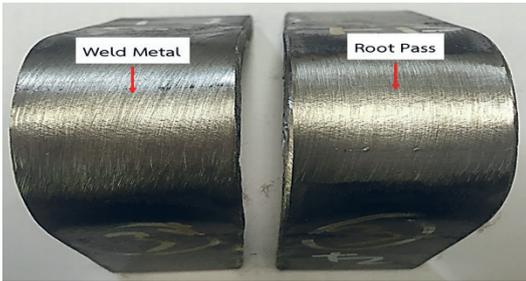
ชิ้นงานเชื่อมภายหลังจากการทดสอบค่าความเค้นแรงดึง นำมาวิเคราะห์ลักษณะของรอยแตกด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด บริเวณรอยแตกหักหลังจากการทดสอบแรงดึง จากรูปที่ 12 พบว่าการเชื่อมทั้งสองสภาวะเป็นการแตกหักแบบเหนียว (Ductile Fracture) พบว่ามีช่องว่างขนาดเล็กที่เริ่มก่อตัวขึ้นบริเวณของรอยแตกมีลักษณะเป็นร่องหลุม (Dimple) การรวมของช่องว่างขนาดเล็กเหล่านี้จึงนำไปสู่การเกิดความเสียหาย ดังรูป 12(A) เชื่อมด้วยกระแสไฟ 320 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 24 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 22

เซนติเมตรต่อนาที สภาวะการเชื่อมดังกล่าวมีค่าความเค้นแรงดึงต่ำสุดมีร่องหลุม ปริมาณน้อยส่งผลให้มีความแข็งแรงน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการเชื่อม ดังรูป 12(B) เชื่อมด้วยกระแสไฟ 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที พบร่องหลุมขนาดเล็ก และปริมาณมากซึ่งเป็นลักษณะการแตกหักแบบเหนียวที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด สอดคล้องกับงานวิจัยของ M. Saadat et al. [22]

4.3.2 ผลการทดสอบการดัดโค้ง

(Bending Test)

การเชื่อมชิ้นงานในสภาวะที่มีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่กระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที งานวิจัยได้ทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบการดัดโค้งเพื่อการตรวจสอบผิวหน้ารอยเชื่อม (Face Bend) และรอยรอยเชื่อมราก (Root Bend) เพื่อตรวจสอบรอยแตก รอยยุบ โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 13 ชิ้นงานทดสอบการดัดโค้งบริเวณผิวหน้ารอยเชื่อม และรอยรากของชิ้นงานเชื่อม

รูปที่ 13 แสดงผลการทดสอบดัดโค้งผิวหน้ารอยเชื่อม และรอยรากของชิ้นงานเชื่อม ไม่พบรอยแตก หรือรอยยุบ บริเวณที่ทำการทดสอบการดัดโค้ง ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่กระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที เป็นสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมผนังถังบรรจุสินค้าของเรือด้วยกระบวนการเชื่อมได้ฟลักซ์ สำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ASTM A131 EH36 สามารถนำมาระบุในข้อกำหนดกระบวนการเชื่อมได้ต่อไป

5. สรุปผลการทดลอง

1. สภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมที่ได้จากการทำนายจากแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ที่กระแสไฟฟ้า 340 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 26 โวลต์ และความเร็วที่ใช้ในการเชื่อม 20 เซนติเมตรต่อนาที เป็นสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมผนังถังบรรจุสินค้าของเรือด้วยกระบวนการเชื่อมได้ฟลักซ์ สำหรับเหล็กกล้าความแข็งแรงสูง ASTM A131 EH36

2. แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีประสิทธิภาพสำหรับการทำนายค่าความเค้นแรงดึง ประกอบด้วยจำนวนนิวรอนในชั้นอินพุต 3 นิวรอน จำนวนนิวรอนในชั้นฮอนที่ 1 จำนวน 8 นิวรอน จำนวนนิวรอนในชั้นฮอนที่ 2 จำนวน 10 นิวรอน และจำนวนนิวรอนในชั้นแสดงผล 1 นิวรอน (3-8-10-1) ชนิดของฟังก์ชันปรับการเรียนรู้

ที่เหมาะสมของแบบจำลอง คือ ชนิดการเคลื่อนลงตามความชัน (Leamgd) มีค่าเฉลี่ยผิดพลาดกำลังสอง เท่ากับ 0.000106

3. สภาวะการเชื่อมที่มีความเหมาะสมมีโครงสร้างจุลภาคเพิร์ลไลต์ละเอียด เกิดเพิร์ลไลต์ในลักษณะกลม เกรนมีความละเอียด เนื่องจากสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานที่เพียงพอทำให้อัตราการเย็นตัวสูงส่งผลให้เพิร์ลไลต์สามารถเกิดได้อย่างหนาแน่นละเอียด และเพิร์ลไลต์บางส่วนรวมตัวกันในลักษณะกลมส่งผลให้ชิ้นงานเชื่อมมีความแข็งแรงสูง

4. การทดสอบการดัดโค้งไม่พบรอยแตก รอยยุบ ทั้งผิวหน้ารอยเชื่อม รอยราก และบริเวณเขตอิทธิพลความร้อน

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ได้สนับสนุนทุนการทำวิจัย จากงบประมาณบุคลากรประจำปีงบประมาณ 2561 ขอขอบพระคุณ บริษัท เอเชีย นามารีน เซอร์วิสเซส จำกัด(มหาชน) ในการสนับสนุนข้อมูลทางเทคนิค รวมถึงสถานที่ในการจัดทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wanchai M, Sumalee S, Suphattra I, Sompong S, Pramuan B, et al. Integrated development of shipbuilding and ship repairing industry: Executive summary. Transportation Institute, Chulalongkorn University. 2007 (in Thai)
- [2] Tanawat S, Vithaya R, Kittichai S. Submerged arc welding process and ship building industry. The Journal of Welding Institute of Thailand. 2016; 2(1):30-5. (in Thai)
- [3] Luiz H. S. B., Paulo J. M., Leonardo B. G. and Ariel R. A. Fatigue crack growth rates on the weld metal of high heat input submerged arc welding International, Journal of Fatigue 2019; 119: 43–51.
- [4] Layus P, Kah P, Khlusova E, Orlov V. Study of the sensitivity of high-strength cold-resistant shipbuilding steels to thermal cycle of arc welding. International Journal of Mechanical and Materials Engineering. 2018; 13(3):1-9.
- [5] Tadeu M, Donizete B, Wagner D. F., Leonardo D. O. T, Ronaldo C. J. Assessment of the weldability of EH36 TMCP shipbuilding steel welded by high heat

- input submerged arc welding, *Welding International*. 2017; 31(3): 184-95.
- [6] Rong Y, Mi G, Xu J, Huang Y, Wang C. Laser penetration welding of ship steel EH36: A new heat source and application to predict residual stress considering martensite phase transformation, *Marine Structure*. 2018; 61: 256-67.
- [7] X. R. Li, Y. M. Zhang, L. Kvidahl. Penetration depth monitoring and control in submerged arc welding, *Welding Research*. 2013; 92: 48-56.
- [8] Carole E, David T, Jean-Yves C, Manuel K. Fatigue life prediction of welded ship detail, *Marine Structures*, 2012;25(1): 13-32.
- [9] Liangbi L, Xiaomei G, Shaolong S, Wenjie W, Zhengquan W. et al. Effects of welding residual stresses on the vibration fatigue life of a ship's shock absorption support, *Ocean Engineering*. 2018; 170: 237-45.
- [10] Ke Z, Yixin C, Jian Z, Jian H, Xinhua T. Adaptive filling modeling of butt joints using genetic algorithm and neural network for laser welding with filler wire. *Journal of Manufacturing Processes*. 2017; 30: 553-61.
- [11] A. Bagchi, S. Saravanan, G. Shanthos Kumar, G. Murugan, K. Raghukandan. Numerical simulation and optimization in pulsed Nd: YAG laser welding of Hastelloy C-276 through Taguchi method and artificial neural network. *Optik*. 2017;146: 80-9.
- [12] A. Sarka, P. Dey, R. N. Rai, S. C. Saha. A comparative study of multiple regression analysis and back propagation neural network approaches on plain carbon steel in submerged-arc welding. *Sadhana*, 2016; 41(5): 549-59.
- [13] L. Yu, K. Saida, S. Hirano, N. Chigusa, M. Mochizuki, K. Nishimoto. Application of neural network-based hardness prediction method to HAZ of A533B steel produced by laser temper bead welding. *Welding in the World*, 2017; 61(3): 483-98.
- [14] D. Zhao, D. Ren, K. Zhao, S. Pan, X. Guo. Effect of welding parameters on tensile strength of ultrasonic spot welded joints of aluminum to steel by experimentation and artificial neural network. *Journal of Manufacturing Processes*, 2017; 30: 63-74.
- [15] R.H. Myers, D.C Montgomery. *Response surface methodology process and product optimization using designed experiments*, 2 ed., USA: John Wiley and Sons: New Jersey; 2002.
- [16] American Society for Testing and Materials. *ASTM E8 / E8M - 16a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*. American Society for Testing and Materials: Pennsylvania; 2013.
- [17] Montgomery DC., *Design and Analysis of Experiments*. USA: John wiley and son publishing, New York New; 2005.
- [18] M.S. Kaiser. Effect of heat input on the weld metal toughness of chromium-molybdenum steel, *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials Metallurgical Engineering*. 2013;7: 33-5.
- [19] Weijun H, Yongjian Z, Xiaoli Z, Na X, Fang zhong H. High cycle fatigue behaviour of V-Microalloyed medium carbon steels: A comparison between bainitic and ferritic-pearlitic microstructures, *International Journal of Fatigue*. 2016; 91: 232-41.
- [20] Sergey G, Eva A, Maksim Z, Rudolf K, Ulrich P. Effect of spheroidization annealing on pearlite banding, *Materials Science Forum*, 2019; 949: 40-7.
- [21] Minwoo K, Minsu J, Hyongjik L, Young-K. Microstructural evolution during austenitization and quenching of a 5% Cr work roll, *Materials Transactions*, 2012;53(11): 1915-21.
- [22] M. Saadat, A. K. E. Nobarzad, M. Jahazi. On the hot cracking of HSLA steel welds: role of epitaxial growth and HAZ grain size. *Journal of Manufacturing Processes*. 2019; 41: 242-51.