

บทความวิจัย (Research Article)

## องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet

ตีเพชร ไชยศล<sup>1\*</sup> และ วิทยา อินทร์สอน<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

<sup>2</sup> แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

\*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: teepach-19@hotmail.com โทรศัพท์: 085-643-3606

(รับบทความ: 21 เมษายน 2568; แก้ไขบทความ: 14 กรกฎาคม 2568; ตอรับบทความ: 16 กรกฎาคม 2568)

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการใช้แขนกลอุตสาหกรรมเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนให้มีความเหมาะสมตามองค์ประกอบของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken และทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง องค์ประกอบที่ศึกษามี 3 ประการ ได้แก่ กระแสไฟ ความเร็วการป้อนลวด และความเร็วในการเชื่อม สำหรับวัสดุที่ใช้คือ เหล็กกล้าคาร์บอน ขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตรหนา 4.5 มิลลิเมตร ใช้ลวดเชื่อม MIG ขนาด 1.2 มิลลิเมตร และใช้แก๊สปกคลุมคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละหนึ่งร้อย ที่ความถี่ 1.4 เฮิร์ตซ์ การทดสอบแรงกดแนวเชื่อมใช้เครื่องทดสอบแรงกดที่มีความสามารถ 60 ตัน (Model 60T) โดยการเชื่อมต่อมุม (Corner Joint) การทดลองพบว่า องค์ประกอบของการเชื่อมที่เหมาะสมคือ กระแสไฟฟ้า 113.5 แอมแปร์ ความเร็วการป้อนลวด 3.0 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ความแข็งแรงผลลัพธ์ที่ได้ 4,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) ที่ได้เท่ากับร้อยละ 75 ขึ้นไปถือว่าข้อมูลที่นำมาทำการทดลองมีความน่าเชื่อถือและมีความแม่นยำ ส่วนค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability: D) เท่ากับ 1 ช่วยทำให้ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ และด้านแนวเชื่อมมีคุณภาพสมบูรณ์ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

**คำสำคัญ:** แขนกลอุตสาหกรรม การออกแบบการทดลอง การหาค่าที่เหมาะสม การเชื่อม

การอ้างอิงบทความ: ตีเพชร ไชยศล และ วิทยา อินทร์สอน, "องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกลตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 3, ฉบับที่ 5, หน้า 16-27, 2568.

## Optimization of Robotic Arm Welding Parameters for Carbon Steel

Teephet Chaiyason<sup>1,\*</sup> and Withaya Insorn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, NakhonPanom University

<sup>2</sup>Department of Welding, Surin Technical College

\*Corresponding Author: teepach-19@hotmail.com, Tel: 085-643-3606

(Received: April 21, 2025; Revised: July 14, 2025; Accepted: July 16, 2025)

### Abstract

This research aimed to mainly investigate using an industrial arm robot for proper welding carbon steel as a fillet procedure. The Box Behnken was designed for the experiment and tested 30 times. The three following elements were examined as follows: electric current, wire feed speed, and welding speed. The used materials were carbon steel with a width of 100 cm., length of 150 cm., and thickness of 4.5 mm., the welding wire size of MIG 1.2 mm., and the shielding gas of CO<sub>2</sub> 100% at a frequency of 1.4 Hz. Testing pressure power of the welding line was conducted by the machine, the Toyo brand with a capacity of 60 Tons (Model 60T) using the method of the Corner Joint. The results revealed that the proper welding elements were an electric current of 113.5 A, a wire feed speed of 3.0 m/min., and a welding speed of 4.0 mm/s. achieved tensile/compressive strength 4,500 kg/cm<sup>2</sup>. A value of R<sup>2</sup> greater than 75 percent indicates that the data from the experiment was reliable and accurate. The D value was equal to 1, which can make the resulting response gain complete satisfaction. the quality standards of a welding line that was completed according to an acceptable standard.

**Keywords:** Industrial Arm Robot, Experimental Design, Proper Optimization, Welding

Please cite this article as: T. Chaiyason and W. Insorn, "Optimization of Robotic Arm Welding Parameters for Carbon Steel," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University*, vol. 3, no. 5, pp. 16-27, 2025.

บทความวิจัย (Research Article)

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมงานเชื่อมในปัจจุบัน มีหลากหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็ได้มีการพัฒนาหลักการการทำงานหรือใช้วัสดุ-อุปกรณ์ สภาพแวดล้อมในงานเชื่อมที่แตกต่างกันออกไป โดยอาจมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันตามกรรมวิธีการเชื่อมนั้น ๆ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นแล้วก็เพื่อให้เกิดสิ่งอำนวยความสะดวกลดความเมื่อยล้าจากการทำงาน เพิ่มความสวยงามในเชิงกายภาพ ความละเอียด ประณีต ของชิ้นงานที่ได้มาตรฐาน หรือลดข้อบกพร่องในการเชื่อมให้เหลือน้อยที่สุด อาทิเช่น กรรมวิธีการเชื่อมแบบ MiG ซึ่งในปัจจุบันนี้ภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการใหม่ ๆ ก็ได้หันไปใช้หุ่นยนต์ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่มีความสามารถ มีบทบาทในด้านการทำงานเชื่อมแบบ MiG ได้ดี โดยหุ่นยนต์ในงานเชื่อมมักจะใช้แรงดันการเคลื่อนที่และแรงสั่น เพื่อสนับสนุนกระบวนการเชื่อม มีความสามารถในการเชื่อมด้วยความเร็วที่มีความแม่นยำในการวางทิศทางและความห่างของจุดเชื่อมสูง และเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ภายใต้อเวลาที่ควบคุมได้ จึงช่วยลดเวลาในการดำเนินงานพร้อมกับความปลอดภัยที่มีมากขึ้น [1] โดยเฉพาะงานที่ต้องใช้ชิ้นส่วนที่เป็นโลหะเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตสินค้า ยกตัวอย่างเช่น การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การบิน งานก่อสร้าง และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งงานเชื่อมเป็นงานที่ค่อนข้างอันตรายและผู้ที่ทำงานด้านนี้ต้องใช้ความระมัดระวัง และที่สำคัญต้องมีเทคนิค ทักษะ ความรู้ ความเชี่ยวชาญในการทำงานค่อนข้างสูง ซึ่งในการทำงานร่วมกับหุ่นยนต์เชื่อม นั้น ควรรู้จักประกอบหรือปัจจัยต่าง ๆ ของการเชื่อม โดยทั่วไปให้ละเอียดครบถ้วน เพื่อลดปัญหาต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น และสามารถที่จะทำงานเชื่อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาเกี่ยวกับองค์ประกอบหรือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพงานเชื่อมนั้น มีการทบทวนวรรณกรรมที่ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในงาน

เชื่อมอุตสาหกรรม โดยจากการวิจัยศึกษาของ N. Agwan et al. [2], S. Singh et al. [3] ได้เน้นที่การวิเคราะห์และการปรับปรุงพารามิเตอร์การเชื่อมแบบ MIG และ TIG เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืน นอกจากนี้ Y. Ma et al. [4] ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพในโรงงานเชื่อม ในทำนองเดียวกันในการวิจัยของ Z. Jie et al. [5] ที่เน้นการศึกษาเทคโนโลยีเชื่อมด้วยเลเซอร์ในการผลิตตัวถังรถยนต์ และยังมีการศึกษาจาก Y.-J. Tao et al. [6], Nguyen et al. [7] ได้เน้นที่การใช้เทคโนโลยีใหม่ เช่น การบันทึกวิดีโอแบบเรียลไทม์ และการใช้ตัวกรองไฟฟ้าสถิตเพื่อปรับปรุงกระบวนการเชื่อมและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้านงานวิจัยของ อนุสิทธิ์ อ่ำไพบุลย์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาเรื่อง การหาสภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการเชื่อมแบบแม็กเอ็ม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง [8] และ ภูเมศวร แสงระยับ และคณะ (2560) ได้ศึกษาเรื่อง การหาค่าที่เหมาะสมของการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิม JFE429 [9]

การวิจัยในด้านการเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ได้รับความสนใจอย่างมากในหลายสาขาวิชา โดยเฉพาะในการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น โดยจากการศึกษาของ จักรินทร์ น่วมทิม และคณะ [10] ได้ศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีต่อการหดตัวของชิ้นงานเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อม MiG ซึ่งเป็นการศึกษาที่ช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของความร้อนต่อวัสดุเหล็กในกระบวนการเชื่อม ทางด้านการพัฒนาและนวัตกรรม นอกจากนี้ ธีระ สรรพอาษา และคณะ [11] ได้ทำการออกแบบการทดลองงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิด เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลด้วยโปรแกรมทางสถิติ การศึกษานี้ช่วยให้เข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อมและสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน และยังมีการศึกษาของ ธีรพงษ์ ฉิมเพชร และคณะ [12] ได้พัฒนาชุดสถิติ หุ่นยนต์แขนกล

## บทความวิจัย (Research Article)

อุตสาหกรรมแบบสคาร์่าเคลื่อนที่อิสระ 4 ทิศทาง ซึ่งเป็นการนำเสนอเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่สามารถใช้ในการจัดการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมหุ่นยนต์ การวิจัยนี้ช่วยเสริมความรู้และทักษะในการใช้หุ่นยนต์ ในกระบวนการผลิต ด้าน บริษัทสุวิมล จำกัด [13] ได้เสนอคำถามว่าหุ่นยนต์เชื่อมตอบโจทยโรงงานอุตสาหกรรมได้จริงหรือไม่ ซึ่งเป็นการสำรวจความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของหุ่นยนต์เชื่อมในสภาพแวดล้อมการผลิตจริง ด้านการศึกษางานวิจัยอื่น ๆ เช่น การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยวิทยา อินทร์สอน [14] และการลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจ้อโทรศัพท์มือถือโดย วิทยา สุมะลี และระพี กาญจนะ [15] ช่วยเสริมความเข้าใจในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีและการออกแบบการทดลองในการพัฒนากระบวนการผลิตและการจัดการคุณภาพในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

โดยรวมแล้วการวิจัยเหล่านี้ไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเท่านั้น แต่ยังช่วยให้เข้าใจถึงผลกระทบของเทคโนโลยีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม โดยมีการชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการควบคุมพารามิเตอร์และเทคนิคการเชื่อมเพื่อผลลัพธ์ที่มีคุณภาพสูง แล้วยังสามารถนำไปรวมกันเป็นฐานความรู้ที่สำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการเชื่อมในอุตสาหกรรมต่าง ๆ โดยเน้นที่การควบคุมคุณภาพและความยั่งยืน

ในการเชื่อมประสานให้เนื้อวัสดุหลอมละลายเข้ากันได้ดีนั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาถึงข้อปฏิบัติองค์ประกอบหรือปัจจัยต่าง ๆ และการออกแบบการทดลองที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโลหะ ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมแบบ Manual หรือ Automatic เพื่อให้แนวเชื่อมมีคุณภาพมาตรฐาน ดังนั้น จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาเรื่องการใช้แขนกลเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนให้เหมาะสมตามองค์ประกอบของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet

เพื่อให้ภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ประกอบการใหม่ ๆ ที่มีการใช้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมด้านงานเชื่อมโลหะ ได้นำไปใช้ประโยชน์ ตลอดจนทำให้ นิสิต-นักศึกษา มีองค์ความรู้ ความเข้าใจ และมีความพร้อมด้านกำลังคนในงานหุ่นยนต์เชื่อม ตามความต้องการของตลาดแรงงานต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาองค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet โดยการเชื่อมตอบมุม (Corner Joint)

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเรื่อง องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง จากการศึกษาเรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ [14] และการลดของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจ้อโทรศัพท์มือถือโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง [15] โดยมุ่งเน้นทำการศึกษา เกี่ยวกับ ปัจจัยของกระแสไฟฟ้า (Current) ความเร็วในการป้อนลวด (Wire Feed Speed) และความเร็วในการเชื่อม (Weld Speed) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการผลิตชิ้นงานให้มีคุณภาพสูง ลดต้นทุนการผลิต ประหยัดเวลา ลดข้อผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในสายการผลิตด้านงานเชื่อม มีวิธีดำเนินการวิจัย ดังนี้

### 3.1 ขอบเขตและวิธีการทดลอง

- แขนกล ABB รุ่น IRB 1520 ID
- เหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 1479-2541 NESCO กลุ่ม W01 ตามมาตรฐานงานเชื่อม

บทความวิจัย (Research Article)

ISO 9606 และ 857 ขนาดความกว้าง 100 มิลลิเมตร (มม.) ยาว 150 มิลลิเมตร (มม.) และหนา 4.5 มิลลิเมตร (มม.)

- 3.1.3 ลวดเชื่อม MIG รุ่น ER70S-6 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร (มม.)
- 3.1.4 แก๊สปกคลุม CO<sub>2</sub> 100 %
- 3.1.5 เครื่องทดสอบแรงกด ยี่ห้อ Toyo Capacity 60 Tons (Model 60T)
- 3.1.6 frequency 1.4 เฮิรตซ์ (Hz)

### 3.2 ขอบเขตการเลือกระดับองค์ประกอบ

ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญขององค์ประกอบที่สำคัญที่สามารถควบคุมได้ 3 องค์ประกอบ ได้แก่

- (1) กระแสไฟฟ้า (Current : แอมป์ (A))
- (2) ความเร็วในการป้อนลวด (Wire Feed Speed : เมตรต่อวินาที (m/min))
- (3) ความเร็วในการเชื่อม (Weld Speed : มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/s)) ส่วนระดับการตั้งค่าตั้งไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำและระดับสูง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับขอบเขตขององค์ประกอบการทดลองเบื้องต้น

ระดับองค์ประกอบ	ระดับการตั้งค่า		สัญลักษณ์
	ระดับต่ำ	ระดับสูง	
กระแสไฟฟ้า (แอมป์: A)	70	157	C
ความเร็วในการป้อนลวด (เมตร/นาที)	1.0	5.0	WFS
ความเร็วในการเชื่อม (มิลลิเมตร/วินาที)	2	6	WS

### 3.3 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

เป็นการคัดกรองหาปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกลให้มีความเหมาะสมตามองค์ประกอบของกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab R.14 ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design มีจำนวนการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เท่ากับ 30 การทดลอง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ระดับปัจจัย		
		กระแส (แอมป์)	ความเร็วในการป้อนลวด (เมตร/นาที)	ความเร็วในการเชื่อม (มิลลิเมตร/วินาที)
1	9	113.5	1	2
2	30	113.5	3	4
3	4	157.0	5	4
4	17	157.0	1	4
5	27	113.5	5	6
6	21	157.0	3	2
7	19	157.0	5	4
8	7	70.0	3	6
9	26	113.5	1	6
10	20	70.0	3	2
11	6	157.0	3	2
12	22	70.0	3	6
13	14	113.5	3	4
14	10	113.5	5	2
15	24	113.5	1	2
16	8	157.0	3	6
17	29	113.5	3	4

บทความวิจัย (Research Article)

ตารางที่ 2 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ระดับปัจจัย		
		กระแส (แอมแปร์)	ความเร็วในการป้อนลวด (เมตร/นาที)	ความเร็วในการเชื่อม (มิลลิเมตร/วินาที)
18	13	113.5	3	4
19	15	113.5	3	4
20	16	70.0	1	4
21	3	70.0	5	4
22	2	157.0	1	4
23	5	70.0	3	2
24	23	157.0	3	6
25	18	70.0	5	4
26	12	113.5	5	6
27	28	113.5	3	4
28	25	113.5	5	2
29	1	70.0	1	4
30	11	113.5	1	6

### 3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 2 มาทำการตรวจสอบคุณภาพข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ดังนี้

1. การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

### 3.5 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ

หลังจากได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในหัวข้อที่ 1, 2 และ 3 ว่ามีความเหมาะสมตามแผนการทดลอง หลังจากนั้นทำการ

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-squared) จากตารางที่ 3 Estimated Regression Coefficients for Strength

ตารางที่ 3 ค่า P ที่ใช้ในการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบความแข็งแรง (Minitab Release 14)

Response Surface Regression: Strength versus Current, Wire Feed Speed, Weld Speed						
The analysis was done using uncoded units.						
Estimated Regression Coefficients for Strength						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	1531.56	1497.73	1.023	0.319		
C	46.95	18.64	2.518	0.020		
WFS	255.57	309.08	0.827	0.418		
WS	71.52	349.27	0.205	0.840		
C*C	-0.20	0.07	-2.749	0.012		
WFS*WFS	-40.10	35.05	-1.144	0.266		
WS*WS	-2.60	35.05	-0.074	0.942		
C*WFS	0.14	1.55	0.093	0.927		
C*WS	-0.14	1.55	-0.093	0.927		
WFS*WS	-3.13	33.68	-0.093	0.927		
S = 381.0 R-Sq = 75.0% R-Sq(adj) = 85.0%						
Analysis of Variance for Strength						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	1306333	1306333	145148	1.00	0.471
Linear	3	72500	964390	321463	2.21	0.118
Square	3	1230083	1230083	410028	2.82	0.065
Interaction	3	3750	3750	1250	0.01	0.999
Residual Error	20	2903333	2903333	145167		
Lack-of-Fit	3	5000	5000	1667	0.01	0.999
Pure Error	17	2898333	2898333	170490		
Total	29	4209667				

จากตารางที่ 3 พบว่า ค่า  $R^2 = 95\%$  ดังนั้น  $R^2$  มีค่ามากกว่า 75% (เป็นไปตามสมการของ Hu, R. [16] และ Haaland. [17]) กล่าวคือ ถ้าค่า  $R^2$  ที่ได้เท่ากับ 0.75 หรือ 75% ขึ้นไป ถือว่าข้อมูลที่นำมาทำการ

บทความวิจัย (Research Article)

ทดลองมีความเชื่อถือได้และมีความแม่นยำ ส่วนค่า P น้อยกว่า 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญ แต่ถ้าค่า P มากกว่า 0.05 แสดงว่าไม่มีนัยสำคัญ [16,17]

### 3.6 หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย

#### 3.6.1 สร้างสมการการทำนาย

โดยการนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ของปัจจัยไปเขียนสมการทำนายความแข็งแรงของแนวเชื่อม จากตารางที่ 3 เพื่อนำสมการทำนายที่ได้ ไปใช้หาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} \text{Maximize} = & 1531.56 + 46.95 (C) + 255.57 (WFS) + 71.52 (WS) \\ & - 0.20 (C * C) - 40.10 (WFS * WFS) - 2.60 (WS * WS) \\ & + 0.14 (C * WFS) - 0.14 (C * WS) \\ & - 3.13 (WFS * WS) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

#### 3.6.2 หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability: D) ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ มีค่าระหว่าง 0–1 ซึ่งถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย

Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Strength	Maximum	0	1	1	1	1
Global Solution						
Current (C)	=	113.50				
Wire Feed Speed (WFS)	=	3.0				
Weld Speed (WS)	=	4.00				
Predicted Responses						
Strength	=	4833, desirability = 1				
Composite Desirability	=	1.00000				

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 การออกแบบการทดลอง

องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ในการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 14 ทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 30 การทดลอง การทดลองจะทำการสุ่มแบบเจาะจง โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 1479-2541 NESCO กลุ่ม W01 ตามมาตรฐานงานเชื่อม ISO 9606 และ 857 โดยการเชื่อมต่อมุม (Corner Joint) นำไปเชื่อมให้เสร็จเรียบร้อย โดยคิดค่าความแข็งแรงที่ออกมาและความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ระดับปัจจัย			
		Current (A)	Wire Feed Speed (m/min)	Weld Speed (mm/s)	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )
1	9	113.5	1	2	4,200
2	30	113.5	3	4	5,300
3	4	157.0	5	4	4,100
4	17	157.0	1	4	4,500
5	27	113.5	5	6	5,100
6	21	157.0	3	2	4,700
7	19	157.0	5	4	4,600
8	7	70.0	3	6	4,200
9	26	113.5	1	6	5,000
10	20	70.0	3	2	4,600
11	6	157.0	3	2	4,200
12	22	70.0	3	6	4,700
13	14	113.5	3	4	4,400
14	10	113.5	5	2	4,300
15	24	113.5	1	2	4,900

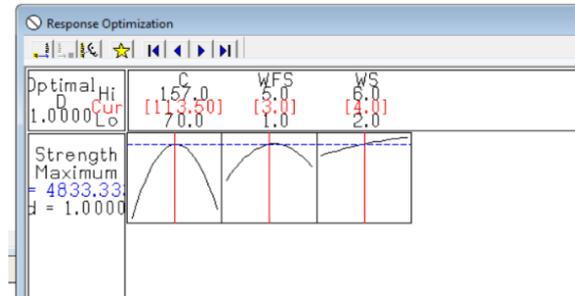
ตีพิมพ์โดย ชาญชัย และ วิทยา อินทร์สอน, องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกลตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet

บทความวิจัย (Research Article)

**ตารางที่ 5** ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ระดับปัจจัย			
		Current (A)	Wire Feed Speed (m/min)	Weld Speed (mm/s)	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )
16	8	157.0	3	6	4,200
17	29	113.5	3	4	5,200
18	13	113.5	3	4	4,400
19	15	113.5	3	4	4,500
20	16	70.0	1	4	4,500
21	3	70.0	5	4	4,100
22	2	157.0	1	4	4,000
23	5	70.0	3	2	4,100
24	23	157.0	3	6	4,800
25	18	70.0	5	4	4,500
26	12	113.5	5	6	4,400
27	28	113.5	3	4	5,200
28	25	113.5	5	2	5,000
29	1	70.0	1	4	4,000
30	11	113.5	1	6	4,400

จากตารางที่ 5 ผลการทดลอง พบว่า ระดับค่าองค์ประกอบของการใช้แขนกลเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ที่เหมาะสม คือ กระแสไฟฟ้า 113.5 แอมแปร์ ความเร็วในการป้อนลวด 3.0 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีค่าการทดสอบแรงกด (compression test) ที่ 4.5 ตัน หรือค่าความแข็งแรง 4,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และแนวเชื่อมที่ออกมามีความสมบูรณ์ โดยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้



**รูปที่ 1** กราฟผลตอบของค่าที่เหมาะสม

จากรูปที่ 1 ทำการวิเคราะห์ยืนยันผลตามผลการทดลอง ประกอบด้วยกระแสไฟฟ้า 113.5 แอมแปร์ ความเร็วในการป้อนลวด 3.0 เมตรต่อนาที และความเร็วในการเชื่อม 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาที เพื่อยืนยันอีกครั้ง หลังจากนั้นนำไปทำการทดลองเพื่อยืนยันผลตอบ (Response Optimizer) จากกราฟผลตอบของค่าที่เหมาะสมในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2



**รูปที่ 2** ชิ้นงานที่ทำการทดสอบยืนยันผล

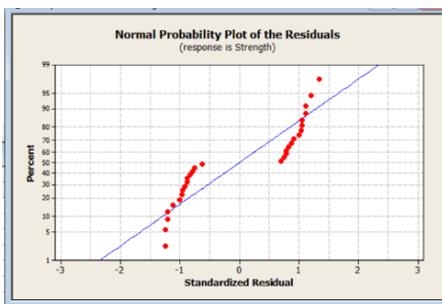
**4.2 วิเคราะห์ผลการตรวจสอบข้อมูลผลการทดลอง**

เมื่อทราบผลการทดสอบความแข็งแรงที่ได้จากการทดลอง 30 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง การตรวจสอบคุณภาพข้อมูล มีดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

4.2.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ

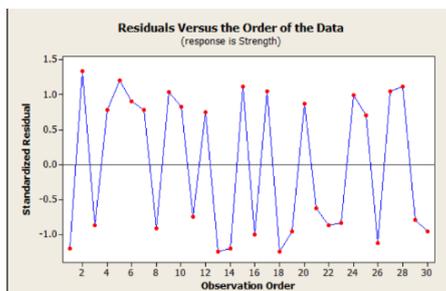
เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากรูปที่ 3 พบว่า ส่วนตกค้างจากการทดลอง ค่าความแข็งแรง ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น และจากการตรวจสอบค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้าง ประมวลทั้งหมด 30 การทดลอง แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสม



รูปที่ 3 การกระจายแบบแจกแจงปกติ

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

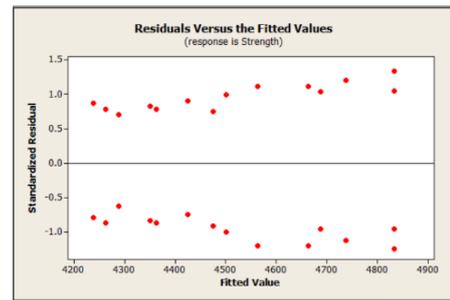
คือ ใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนที่ข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ จากรูปที่ 4 พบว่า ส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ แสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ



รูปที่ 4 ความเป็นอิสระของข้อมูล

4.2.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน

คือ ใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับปัจจัย จากรูปที่ 5 พบว่า ส่วนตกค้างของผลการทดลองมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ แสดงว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 5 ความเสถียรของความแปรปรวน

5. สรุปผลการศึกษา

องค์ประกอบที่เหมาะสมของการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยแขนกล ตามกรรมวิธีการเชื่อมแบบ Fillet ในการออกแบบการทดลองโดยใช้ โปรแกรม Minitab Release 14 รวมทั้งหมด 30 ครั้ง การทดลองจะทำการสุ่มแบบเจาะจง โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน มอก. 1479-2541 NESCO กลุ่ม W01 ตามมาตรฐานงานเชื่อม ISO 9606 และ 857 ขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร (ซม.) ยาว 150 เซนติเมตร (ซม.) และหนา 4.5 มิลลิเมตร (มม.) ลวดเชื่อม MIG รุ่น ER70S-6 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร (มม.) แก๊สปกคลุมเป็น CO<sub>2</sub> 100 % เครื่องทดสอบแรงกดยี่ห้อ Toyo Capacity 60 Tons (Model 60T) หุ่นยนต์แขนกลยี่ห้อ ABB รุ่น IRB 1520 ID และปรับใช้ความถี่ (Frequency) ที่ 1.4 Hz ซึ่งเป็นความถี่ต่ำและปรับใช้กับโหมดการเชื่อมแบบ Pulsed MIG จากเครื่องเชื่อม Fronius รุ่น TPS 400i ที่มีความแม่นยำในการควบคุม

## บทความวิจัย (Research Article)

พลังงานเชื่อม โดยหุ่นยนต์สามารถควบคุมความเร็ว การเชื่อมและรักษา Arc ได้อย่างสม่ำเสมอ จึงส่งผล ต่อการควบคุมความลึกของการหลอมละลาย หรือการ เจาะลึกลงไปในรอบต่อของชิ้นงานได้ดี และมีความ แม่นยำในการควบคุมแนวเชื่อม ทำให้คุณภาพแนว เชื่อมที่ทำการเชื่อมแบบต่อมุม (Corner Joint) ท่าราบ (Flat Position) หรือเมื่อนำการปรับใช้ความถี่ไป เปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอลูมิเนียมด้วย หุ่นยนต์แขนกล [1] จะได้ลักษณะแนวเชื่อมออกมา มี คุณภาพสมบูรณ์ แนวเชื่อมไม่กว้างหรือแคบเกินไป มี spatter น้อย และการปรับใช้ ความถี่ ยังมี ความสัมพันธ์กับระดับองค์ประกอบอื่นที่เหมาะสม คือ กระแสไฟฟ้า (Current : C) ที่ 113.5 แอมแปร์ ซึ่งจากขอบเขตการเลือกระดับองค์ประกอบ ที่ได้ให้ ความสำคัญที่สามารถควบคุมได้ในส่วนของ กระแสไฟฟ้านั้น ได้ตั้งไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำสุดที่ 70 A และระดับสูงสุด ที่ 157 A โดยเป็นช่วงกระแสที่ เหมาะกับการเชื่อมโลหะที่มีความหนาของชิ้นงาน ตั้งแต่ 2.0-6.0 มม. รองรับการควบคุมความร้อนสะสม (Heat Input) ด้วยหุ่นยนต์ที่แม่นยำ ลดข้อผิดพลาด ต่างๆ และประหยัดเวลาในสายการผลิต ไม่เกิดปัญหา หรือข้อบกพร่องเชิงคุณภาพแนวเชื่อม อาทิ ด้านการ บิดงอของชิ้นงาน รูพรุน (Porosity) Undercut การ ไม่หลอมละลาย (Lack of Fusion) และรองรับกับ การใช้งานลวดเชื่อมที่หลากหลาย ตั้งแต่ขนาด 0.9- 1.2 มม. ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานสำหรับการเชื่อม MIG อัตโนมัติ นอกจากนี้ กระแสในช่วงนี้ยังปรับได้ สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ความเร็วในการ บ้อนลวด (Wire Feed Speed : WFS) ที่ 3.0 เมตร ต่อนาทีและความเร็วในการเชื่อม (Weld Speed : WS) ที่ 4.0 มิลลิเมตรต่อวินาทีได้พอดี ส่วนผลลัพธ์ ด้านความแข็งแรงที่ได้เท่ากับ 4,500 กิโลกรัมต่อ ตารางเซนติเมตร โดยที่บริเวณรอยต่อของชิ้นงานที่ เชื่อมไม่เกิดการฉีกขาดจากแรงกด แต่เกิดการโค้งงอ

ตามแรงกด ด้านลักษณะแนวเชื่อมมีคุณภาพสมบูรณ์ ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

## 6. ข้อเสนอแนะ

การนำกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยแขนกลไป ประยุกต์ใช้งานจริงในอุตสาหกรรม User ควรทำการ ปรับตั้งองศา Axis 4 และ Axis 5 ของหุ่นยนต์ในขณะ ทำการเชื่อมให้อยู่ในองศาที่ถูกต้องเหมาะสม เพราะ จะส่งผลโดยตรงต่อมุมในการเดินลวด ซึ่งการตั้งมุม ลวดเชื่อมถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของ กระบวนการเชื่อม ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมแบบ Manual หรือ Automatic ส่วนการปรับตั้งระยะ ปลายลวดเชื่อมให้ยื่นออกมาจากปลาย Nozzle หรือ Electrode Stick Out ควรปรับตั้งให้เหมาะสมที่ ระยะ 10-12 มม. ไม่ควรสั้นหรือยาวเกินไป และการ รักษาระยะห่างของ Contact Tip กับชิ้นงานในขณะ ทำการเชื่อม เพราะปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อการ ถ่ายเทน้ำโลหะลงบนชิ้นงาน ส่วนด้านการเลือกใช้แก๊ส ปกคลุมที่จะส่งผลต่อการอาร์คและการหลอมลึกลง นั้น ควรเลือกให้เหมาะสมกับวัสดุงาน นอกจากนี้ยังมี ประเด็นที่น่าศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ การศึกษาข้อมูล ของลวดเชื่อมแต่ละชนิด แต่ละยี่ หือว่ามีความ เหมาะสมกับการถ่ายเทน้ำโลหะแบบใด รวมถึง แนวทางการแก้ปัญหาข้อบกพร่องงานเชื่อม ใน กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยแขนกล เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ที่ดีที่สุดต่อไป

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ วัสดุ-อุปกรณ์ และหุ่นยนต์แขนกลเชื่อม เพื่อใช้ในการ วิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จตามเป้าหมาย

บทความวิจัย (Research Article)

เอกสารอ้างอิง

- [1] ตีเพชร ไชยศล และ วิทยา อินทร์สอน, “ปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมอลูมิเนียมด้วยหุ่นยนต์แขนกล,” ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 42*, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2567. หน้า 54-59.
- [2] N. K. Agwan, K. H. Madavi, S. L. Kulkarni and A. S. Harkal "Experimental Investigation on Parametric Optimization of MIG welding process on Mild Steel E34 by using Taguchi Technique," *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 7, pp. 2675-2679, 2019, doi:10.22214/ijraset.2019.6454
- [3] S. K. Singh, B. K. Samal, S. R. Pradhan, S. R. Ojha, M. D. Saffin, and A. M. Mohanty, “Sustainable analysis of tig parameters for welding aluminum alloy considering joint gap and welding current,” in *International Conference on Application of Robotics in Industry using Advanced Mechanisms*, 2019, pp. 316–323.
- [4] Y. Ma, L. Li, T. Bai, and C. Jin, “Quality of Company D Welding Workshop,” in *International Conference on Intelligent and Interactive Systems and Applications*, 2016, pp. 439–444.
- [5] Z. Jie, Y. Lan, and J. Z., “Research on Factors Affecting Laser Welding Quality of Automobile Body,” in *International Conference on Medicine, Biology, Materials and Manufacturing (ICMBMM 2018)*, 2018.
- [6] Y. J. Tao, W. C. Guo, C. J. Miao, and J. F. Shi, “Study on Electrofusion Welding Process Based on Real-time Ultrasonic Phased Array Video Recording,” in *2020 IEEE Far East NDT New Technology & Application Forum (FENDT)*, Nov. 2020., pp. 66–70.
- [7] H. B. H. Nguyen, M. L. Du, and T. H. Bui, “Design and Manufacture of Welding Fumes Electrostatic Precipitator and Parameter Study on Filtration Performance,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 907, pp. 115–129, 2022.
- [8] อนุสิทธิ์ อ่ำไพบุลย์, วิทยา อินทร์สอน, และพรชัย ฉัตรชัยวัฒนา, “การหาสภาวะที่เหมาะสมของเงื่อนไขการเชื่อมแบบแม็กเอ็ม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง,” ใน *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประเทศไทย*, ตุลาคม 2551.
- [9] ภูเมศวร แสงระยับ และคณะ, “การหาค่าที่เหมาะสมของการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลูมสำหรับเหล็กกล้าโรสนิม JFE429,” ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 55*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2560, หน้า 283–290.
- [10] จักรินทร์ น่วมทิม, อนุชา ขวัญสุข, และ ปิยะมาศ นวลเคน, “การวิจัยศึกษาอิทธิพลของความร้อนที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นงานด้วยเหล็กเกรด 304 จากกระบวนการเชื่อมมิก,” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ, 2557.
- [11] อีระ สรรพอาษา และคณะ, “การออกแบบการทดลองงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลด้วยโปรแกรมทาง

บทความวิจัย (Research Article)

สถิติ,” ใน การประชุมวิชาการนวัตกรรมด้าน  
วิศวกรรมและเทคโนโลยีเพื่อเศรษฐกิจและสังคม  
ครั้งที่ 2, มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต, 2561.

- [12] อีรพงษ์ ฉิมเพชร และ สมคิด สุทธิศักดิ์, “การ  
พัฒนาชุดสาธิตเรื่องหุ่นยนต์แขนกล  
อุตสาหกรรมแบบสคาร์่าเคลื่อนที่อิสระ 4  
ทิศทางสำหรับการจัดการเรียนการสอนทางด้าน  
วิศวกรรมหุ่นยนต์,” คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2564.
- [13] บริษัท สุวิมล จำกัด, “หุ่นยนต์เชื่อมตอบโจทย์  
โรงงานอุตสาหกรรมได้จริงหรือไม่,” [ออนไลน์].  
Available:  
<https://www.sumipol.com/knowledge/welding-robot/>. [เข้าถึงเมื่อ: 6 เมษายน 2567].
- [14] วิทยา อินทร์สอน, “การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด  
เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์  
105,” ปรินญาปรัชญาดุขฎฐิบัณฑิต,  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.
- [15] วิทยา สุมะลี และ ระพี กาญจนะ, “การลดของ  
เสียในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนหน้าจอ  
โทรศัพท์มือถือ โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการ  
ทดลอง,” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล  
ธัญบุรี, 2560.
- [16] R. Hu, Food product design. *A computer-  
aided statistical approach*,  
Pennsylvania, USA: Technomic  
publishing Co., Ltd., 1999.
- [17] P. D. Haaland, *Experimental design in  
biotechnology*, CRC press, 2020.