

# การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุม สำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมโดยวิธีการออกแบบการทดลอง

## Parametric Optimization for the Gas Metal Arc Welding of Stainless Steel using Experimental Design

ชนิกา นิवासานนท์<sup>1</sup> และ จันท์ศิริ สิงห์เถื่อน<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

g5414501742@nontri.ku.ac.th, fengcsr@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุมสำหรับชิ้นงาน Webbing Bar Assy ซึ่งเป็นชิ้นส่วนอุปกรณ์ยึดติดเข็มขัดนิรภัยในรถยนต์เพื่อลดจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์ลง ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง โดยพิจารณาปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดปัญหาระยะซึมลึกไม่ได้ตามค่าพิกัด 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และอัตราเร็วในการเชื่อม จากนั้นจึงออกแบบการทดลอง โดยใช้การทดลองแบบ 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ ทำซ้ำ 2 ครั้ง ทดลองครั้งละ 10 ชิ้นงาน ค่าตัวแปรตอบสนองคือ จำนวนชิ้นงานที่มีระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์ จากการทำการทดลองพบว่าควรตั้งกระแสไฟฟ้า 150 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 18 โวลต์ และอัตราเร็วในการเชื่อม 30 เซนติเมตรต่อนาที จึงจะทำให้สามารถลดจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์ลงได้มากที่สุด

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, การเชื่อมโลหะแบบใช้ก๊าซคลุม, เหล็กกล้าไร้สนิม, การเชื่อมไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

### Abstract

The purpose of this research is to reduce the amount of incomplete penetration of Webbing Bar Assy part, which is a component of a seat belt, in GMAW welding process by using an experimental design technique. The influence of welding parameters, which are welding electricity current, voltage, and welding speed were studied. The response variable is the amount of complete penetration workpieces. A 2<sup>3</sup> full factorial design with two replications and each replication composes of 10 workpieces was performed. From this study, optimized electricity current, voltage, and welding speed should be set at 150 ampere, 18 volt, and 30 centimeters per minute respectively to minimize the amount of incomplete penetration workpieces.

Keywords: Design of experiments, GMAW, Stainless steel, Automatic welding

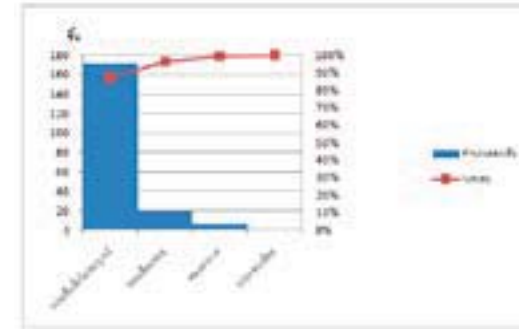
### 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมกรรมการเชื่อมโลหะเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมแปรรูปโลหะต่างๆ เป็นต้นโรงงานกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตและส่งออกผลิตภัณฑ์โลหะชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนรถยนต์ซึ่งใช้กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุมเป็นกระบวนการผลิตหลักจากการเก็บข้อมูลของเสียโดยสุ่มตรวจสอบชิ้นงานจากทุกผลิตภัณฑ์ รุ่นผลิตภัณฑ์ละ 1 ชิ้นงาน ในช่วงเดือน กรกฎาคม – ตุลาคม 2555 จำนวน 1500 ชิ้นงาน พบของเสียในผลิตภัณฑ์ 4 ผลิตภัณฑ์ จาก 7 ผลิตภัณฑ์หลักที่บริษัทผลิต แยกตามชนิดของเสีย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนของเสียในผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น (หน่วย: ชิ้น)

ชื่อผลิตภัณฑ์	PIVOT O/B	ASM	ASM	WEBBING
	RH WELDED BRKT	PIVOT BRACKET I/B LH	PIVOT I/B LH	BAR ASSY
ชนิดของเสีย				
ระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์	64	97	57	171
ฟองอากาศ	5	9	3	6
รอยเชื่อมทะลุ	6	2	10	19
รอยเชื่อมมีขนาดไม่เท่ากัน	-	3	3	-
ประกอบเอียง	4		20	1

จากตารางที่ 1 ผลิตภัณฑ์รุ่น Webbing Bar Assy มีเปอร์เซ็นต์การเกิดของเสียมากที่สุดถึง 13.13 % ของจำนวนชิ้นงานทั้งหมด โดยของเสียส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเชื่อม เมื่อจัดทำแผนภาพพารโดของผลิตภัณฑ์รุ่นนี้ดังรูปที่ 1 พบว่าของเสียที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมที่มีเปอร์เซ็นต์สูงสุดคือ ระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์ ซึ่งคิดเป็น 86.8 % ของของเสีย



ทุกประเภท

รูปที่ 1 จำนวนของเสีย ของผลิตภัณฑ์รุ่น Webbing Bar Assy

ปัจจุบันกระบวนการเชื่อมที่ทางโรงงานใช้เชื่อมผลิตภัณฑ์รุ่น Webbing Bar Assy เป็นชนิดควบคุมการเชื่อมแบบอัตโนมัติ ซึ่งการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้กำหนดจากประสบการณ์ของพนักงานและยังไม่มีข้อกำหนดค่าที่เหมาะสมไว้ ผู้วิจัยจึงต้องการใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดระดับพารามิเตอร์ในกระบวนการเชื่อมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พิกิต [1] ได้ทำการศึกษาการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุมสำหรับเหล็กกล้าเอสที 37 โดยวิธีพื้นผิวผลตอบสนองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยในกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุม (Gas Metal Arc Welding ; GMAW) โดยประยุกต์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวนโดยออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัยหลักที่มีผลสำคัญต่อความต้านทานแรงดึงของตะเข็บเชื่อม โดยทำการกรองปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้าเชื่อม แรงดันไฟฟ้าเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม และปริมาณก๊าซคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความต้านทานแรงดึงของตะเข็บเชื่อม โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จากนั้นใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบรวมการทดลองทั้งหมด 12 ครั้ง และรูปแบบการทดลองจะมีลำดับเป็นการทดลองแบบสุ่ม จะได้ปัจจัยหลักกระแสไฟฟ้าเชื่อม แรงดันไฟฟ้าเชื่อม ความเร็วในการเชื่อม นำมาออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยหลักโดยวิธีการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design ; CCD) เพื่อวิเคราะห์หาผลตอบสนองที่ดีที่สุด จากการศึกษพบว่าค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆ คือกระแสไฟฟ้าเชื่อมเท่ากับ 125.00 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้าเชื่อมเท่ากับ 27.00

โวลต์และความเร็วในการเชื่อมเท่ากับ 14.20 นิ้วต่อนาทีซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุดคือ 599.379 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

วรเชษฐ์ [2] ได้ทำการศึกษาระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุมเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดจำนวนเม็ดโลหะบนชิ้นงานในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงส่วน โดยคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนเม็ดโลหะบนชิ้นงาน ได้แก่ ก๊าซผสม อัตราเคลื่อนที่หัวเชื่อม อัตราการไหลของก๊าซคลุม แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ สูงและต่ำ แล้วทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลเชิงส่วน โดยทำซ้ำที่จุดศูนย์กลาง 4 ครั้ง ได้การทดลองจำนวน 20 ครั้ง และมีลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม จากการศึกษาพบว่าค่าปรับค่าก๊าซผสม 12% (ก๊าซอาร์กอน 12% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 88%) อัตราการเคลื่อนที่หัวเชื่อม 8 มิลลิเมตรต่อนาที แรงดันไฟฟ้า 19 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 120 แอมแปร์ สามารถลดจำนวนรอยตำหนิ (เม็ดโลหะบนชิ้นงาน) จาก 116 รอยตำหนิ เหลือเพียง 43.7 รอยตำหนิ สามารถลดต้นทุนการผลิตลงโดยประมาณ 700,250 บาทต่อปี และปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น 40.87%

สุวิช [3] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเชื่อมต่อสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมโลหะต่างชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (AISI 304) กับเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205) ด้วยกรรมวิธีการเชื่อมมิก โดยออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ซึ่งกำหนดตัวแปรและปัจจัยในการศึกษา ได้แก่

- ชนิดของแก๊ส 3 ชนิด คือ Ar+CO<sub>2</sub>(95:5%), Ar+CO<sub>2</sub>(90:10%), Ar+CO<sub>2</sub>(85:15%)
- กระแสเชื่อม 3 ระดับ คือ 150 แอมป์, 170 แอมป์, 200 แอมป์
- ความเร็วในการเชื่อม 3 ระดับ คือ 250 มิลลิเมตรต่อนาที, 300 มิลลิเมตรต่อนาที, 350 มิลลิเมตรต่อนาทีจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค คือความเร็วในการเชื่อมมีผลต่อปริมาณความร้อนและอัตราการเย็นตัว ส่วนระดับกระแสเชื่อมทำให้เกิดความร้อนในระดับที่ต่างกัน ซึ่งมีผลต่อบริเวณขอบเขตการหลอมละลาย

E.M.El-Banna [4] ได้ศึกษาผลกระทบต่อการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมเหล็กหล่อเหนียว พบว่าการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมมีผลกระทบต่อการแตกร้าวบริเวณคาร์ไบด์ของแนวเชื่อม

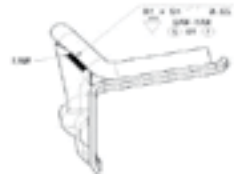
P.J. Maziasz, G.M. Goodwin, C.T. Liu, and S.A. David [5] ได้ศึกษาผลกระทบของปริมาณความร้อนที่มีผลต่อรอยเชื่อม โดยใช้วิธีการเชื่อม GTAW (Gas Tungsten-Arc Welding) ที่เปลี่ยนแปลงความเร็วในการเชื่อมและกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม เพื่อให้ได้รอยซึมลึกที่สมบูรณ์ โดยทดลองเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด 316 พบว่าเมื่อความเร็วเชื่อมลดลงและกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดรอยแตกกว้างเพิ่มขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมสูงขึ้นจะทำให้เกิดรอยแตกกว้างเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

3. วิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ศึกษาผลิตภัณฑ์ Webbing Bar Assy และกระบวนการเชื่อม

ผลิตภัณฑ์ Webbing Bar Assy ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ประกอบไปด้วยชิ้นงานที่เป็นเหล็กแผ่นขนาดความหนาเหล็ก 2.3 มิลลิเมตร เชื่อมติดกับชิ้นงานที่เป็นเหล็กทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2

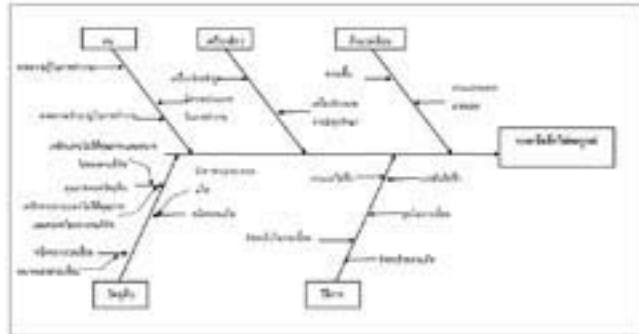


รูปที่ 2 ผลิตภัณฑ์ Webbing Bar Assy

กระบวนการเชื่อมที่ใช้คือ กระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุม ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม 5 ตัว ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อัตราเร็วในการเชื่อม อัตราเร็วของแก๊ส และมุมในการเชื่อมแต่สามารถปรับตั้งค่าได้เพียง 3 พารามิเตอร์แรก เนื่องจากอัตราเร็วของแก๊สถูกโปรแกรมให้สัมพันธ์กับค่าแรงดันไฟฟ้า ส่วนมุมในการเชื่อมถูกกำหนดจากการติดตั้งเครื่องจับยึดชิ้นงาน การปรับเปลี่ยนจึงไม่สะดวกและอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดได้ง่ายเมื่อเปลี่ยนรุ่นของผลิตภัณฑ์

3.2 ระบุสาเหตุของปัญหา

เมื่อศึกษาชิ้นงานและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการเชื่อมแล้วจึงทำการระดมสมองจากฝ่ายที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานมีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์ด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังแสดงเหตุและผลของปัญหาชิ้นงานมีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์

3.3 กำหนดปัจจัยและออกแบบการทดลอง

จากการตรวจสอบแต่ละสาเหตุในแผนผังแสดงเหตุและผลด้วยผลการลงพื้นที่และรวบรวมข้อมูล นำมาวิเคราะห์เพื่อถกกันกรองปัจจัยต่างๆ พบว่าปัจจัยที่น่าจะส่งผลกระทบต่อระยะซีมลิคของรอยเชื่อม และสามารถควบคุมได้มีจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และ อัตราเร็วในการเชื่อม จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2<sup>3</sup> แฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design) เพื่อค้นหาว่าปัจจัยตัวใดบ้างเป็นปัจจัยที่มีผลต่อ

ระยะซีมลิคที่ไม่สมบูรณ์อย่างมีนัยสำคัญโดยแบ่งในแต่ละปัจจัยมีการกำหนดค่าออกเป็น 2 ระดับ คือต่ำและสูง แต่ละการทดลองมีการทำซ้ำ 2 ครั้งครั้งละ 10 ชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับปัจจัย

ปัจจัย	ต่ำ	สูง
แรงดันเชื่อม (โวลต์)	15	18
กระแสเชื่อม(แอมแปร์)	100	150
อัตราเร็วการเชื่อม(เซนติเมตรต่อนาที)	30	50

ตัวแปรตอบสนองในการทดลอง คือ จำนวนชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์ โดยการวัดระยะซีมลิคของทางโรงงานกรณีศึกษาจะทำการวัดระยะซีมลิคของรอยเชื่อมที่จุดขอบของชิ้นงานจำนวน 1 จุดด้วยโปรแกรม MICRO CAM การวัดจะวัดค่า 4 ค่า คือ ระยะซีมลิคในชิ้นงานที่ 1, ระยะซีมลิคในชิ้นงานที่ 2, ระยะซีมลิคในแนวตั้งฉากของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้น, และ ส่วนสูงของแนวเชื่อม โดยหากค่าใดค่าหนึ่งไม่ผ่านค่าพิกัด ชิ้นงานนั้นจะถือว่าเป็นชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์ จากนั้นทำการจัดลำดับการทำการทดลองแบบสุ่มด้วยคำสั่ง "create factorial design" ในโปรแกรม MINITAB จากการทำการทดลองพบว่าจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์ในแต่ละชุดของการทดลอง ให้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลำดับการทดลองแบบสุ่ม

ลำดับการทดลอง	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	อัตราเร็วการเชื่อม (ซ.ม./นาที)	จำนวนชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์ (ชิ้น)
1	18	100	30	4
2	18	100	50	5
3	18	150	30	0
4	15	150	30	9
5	15	100	30	2
6	18	150	50	5
7	15	150	30	10
8	15	150	50	4
9	18	100	50	2
10	18	150	50	3
11	15	100	50	4
12	15	100	30	3
13	18	150	30	0
14	18	100	30	2
15	15	150	50	7
16	15	100	50	5

3.4 วิเคราะห์ผลการทดลองจากการทดสอบ ANOVA ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab และกำหนดระดับของปัจจัย

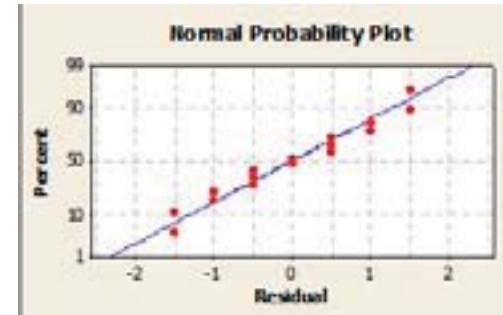
3.5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

4. ผลการดำเนินงาน

ก่อนทำการวิเคราะห์ผลและตีความผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจำเป็นต้องตรวจสอบว่าข้อมูลต้องตรวจสอบสมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลเสียก่อนเพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นมีการกระจายตัวของข้อมูลอย่างปกติ จึงสามารถนำมาวิเคราะห์ผลได้อย่างถูกต้อง

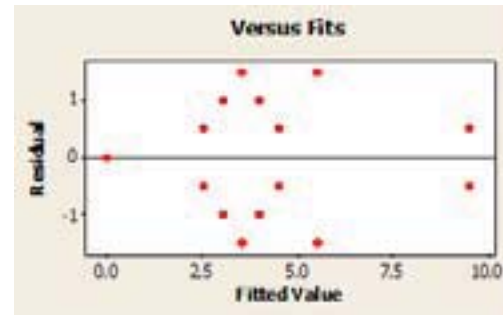
4.1 ตรวจสอบสมมติฐานการกระจายของข้อมูลโดยจะเป็นการทดสอบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติและมีความเป็นอิสระต่อกัน จากการพิจารณากราฟ Residual Plot

4.1.1 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติพบว่าการพล็อตมีลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติดังรูปที่ 4



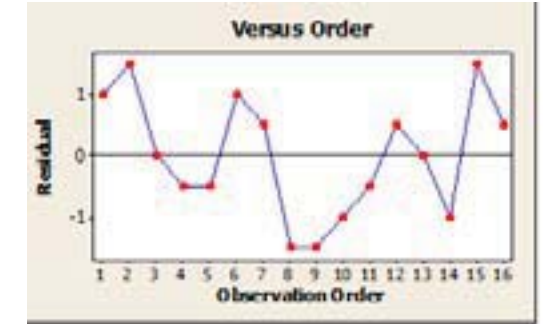
รูปที่ 4 กราฟการกระจายตัวแบบปกติ

4.1.2 การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์พบว่าค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่และเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟค่าความผิดพลาดกับค่าพยากรณ์

4.1.3 การตรวจสอบค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลาที่เก็บข้อมูลพบว่าค่าความผิดพลาดมีการกระจายแบบสุ่ม (ไม่มีรูปแบบ) และความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนมีค่าคงที่ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟค่าความผิดพลาดกับลำดับเวลา

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 7 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์ซึ่งมีค่า P – value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 คืออิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า (A\*B) และอิทธิพลอันตรกิริยาของ 2 ปัจจัยระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราเร็วในการเชื่อม (A\*C) เนื่องจากอันตรกิริยาของปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์จึงไม่พิจารณาอิทธิพลปัจจัยหลักของกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและอัตราเร็วในการเชื่อม

Factorial Fit: number of defect versus A, B, C

Estimated Effects and Coefficients (in number of defect (coded units))

Term	Effect	Coeff	SE Coef	T	P
Constant	4.042	0.3366	12.07	0.000	
A	-2.975	-3.437	0.3366	-10.27	0.000
B	3.975	0.897	0.3366	2.64	0.075
C	0.428	0.513	0.3366	1.52	0.285
A*B	-2.625	-3.312	0.3366	-9.82	0.000
A*C	3.625	0.613	0.3366	1.82	0.042
B*C	-0.625	-0.312	0.3366	-0.93	0.349
A*B*C	2.375	1.187	0.3366	3.53	0.000

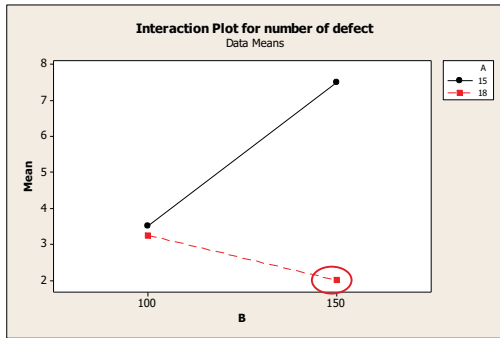
S = 1.34629 R-Sq = 90 R-Sq(Adj) = 91.23% R-Sq(Pred) = 97.14%

Analysis of Variance for number of defect (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	42.187	42.187	14.062	7.76	0.000
A	1	33.062	33.062	33.062	18.24	0.000
B	1	7.562	7.562	7.562	4.17	0.075
C	1	1.562	1.562	1.562	0.84	0.360
2-Way Interactions	3	39.687	39.687	13.229	7.20	0.000
A*B	1	27.562	27.562	27.562	15.21	0.000
A*C	1	10.562	10.562	10.562	5.83	0.042
B*C	1	1.562	1.562	1.562	0.84	0.360
3-Way Interactions	1	22.562	22.562	22.562	12.48	0.000
A*B*C	1	22.562	22.562	22.562	12.48	0.000
Residual Error	8	14.900	14.900	1.863		
Total	16	129.937				

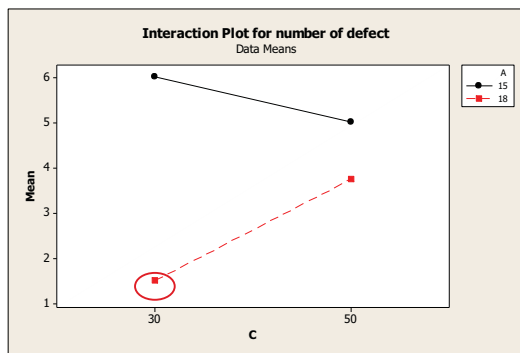
รูปที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแรงดันไฟฟ้า (A) และกระแสไฟฟ้า (B) จึงทำการพิจารณากราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างกับแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า (A\*B) ดังรูปที่ 8 พบว่า ควรกำหนดระดับแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 18 โวลต์และระดับกระแสไฟฟ้าไว้ที่ 150 แอมแปร์จะทำให้มีจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซีมลิคไม่สมบูรณ์น้อยที่สุด



รูปที่ 8 กราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า

เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแรงดันไฟฟ้าและความเร็วในการเชื่อมจึงทำการพิจารณากราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างกับแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วในการเชื่อม (A\*C) ดังรูปที่ 9 พบว่า ควรกำหนดระดับแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 18 โวลต์และความเร็วในการเชื่อม 30 เซนติเมตรต่อ นาทีจะทำให้มีจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์น้อยที่สุด ซึ่งระดับแรงดันไฟฟ้าสอดคล้องกับการกำหนดค่าไว้ในข้างต้น



รูปที่ 9 กราฟอิทธิพลอันตรกิริยาระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราเร็วในการเชื่อม

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองพร้อมทั้งวิเคราะห์ผลของตัวแปรตอบสนองสามารถสรุปผลการวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ดังนี้ปัจจัยและระดับที่เหมาะสมของกระบวนการเชื่อมไฟฟ้าแบบใช้ ก๊าซคลุมสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Webbing Bar Assy ได้แก่กระแสไฟฟ้า 150 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 18 โวลต์ และอัตราเร็วในการเชื่อม 30 เซนติเมตรต่อ นาที จึงจะทำให้สามารถลดจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์ลง ได้มากที่สุดโดยจากการทดลองพบว่าสามารถลดจำนวนชิ้นงานที่มีระยะซึมลึกไม่สมบูรณ์ได้ทั้งหมด

## 6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้กระบวนการเชื่อมแบบใช้ก๊าซคลุมที่มีการเชื่อมแบบอัตโนมัติได้ สำหรับการเชื่อมแบบใช้ก๊าซคลุมที่ใช้คนเชื่อมอาจต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ ที่

เกี่ยวข้อง เช่น ความชำนาญงานของพนักงาน และความเสถียรของความเร็วในการเชื่อม เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พิศิต ดวงมาลา. 2549. การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับวิธีการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุมสำหรับเหล็กกล้าเอสที 37 โดยวิธีพื้นผิวตอบสนอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [2] วรเชษฐ์ หวานเสียง. 2553. เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดเพื่อลดจำนวนโลหะบนชิ้นงานสำหรับกระบวนการเชื่อมโลหะด้วยไฟฟ้าแบบใช้ก๊าซคลุม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [3] สุวิช จันทรวง. 2554. อิทธิพลของพารามิเตอร์การเชื่อมต่อ สมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาคของการเชื่อมโลหะต่างชนิดเหล็กกล้าไร้สนิมอสเทนเนติก (AISI 304) กับเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (AISI 2205). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] E.M El-Banna. 1999. Effect of preheat on welding of ductile cast iron. Materials Letter 41 : 20-26
- [5] P.J. Maziasz, G.M. Goodwin, C.T. Liu, and S.A. David. 1992. Effects of minor alloying elements on the welding behavior of FeAl alloys for structural and weld-overlay cladding applications. Scripta Metallurgica et Materialia 27 : 1835-1840