

การพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตในกระบวนการเชื่อมแบบจุดโดยวิธีการออกแบบการทดลอง

กรณีศึกษาฐานใช้คอป

Productivity Improvement by Design and Analysis of Experiments

Case Study : Base of Choke Up

สุชาดา มะโนชัย (Suchada Manochai)* สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร (Somkiat Jongprasithporn)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตและหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่ไม่ได้มาตรฐาน เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการเชื่อมแบบจุดของฐานใช้คอปพบว่า ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดได้แก่ ความแข็งแรงของรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐาน จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสาเหตุความแข็งแรงของรอยเชื่อมไม่ได้มาตรฐาน พบว่ามี 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อม ผู้วิจัยได้นำปัจจัยดังกล่าวมาทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 3^3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการทดลองพบว่า ปัจจัยกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการปรับตั้งปัจจัยเหล่านี้เพื่อให้ได้ความแข็งแรงของรอยเชื่อมตามต้องการได้แก่ กระแสไฟฟ้า 8,450 Ampere แรงกดชิ้นงาน 4.6 kgf และเวลา 11 วินาที

ABSTRACT

The objective of this research was to improve productivity process and also determine the optimal condition of these factors of non-standard strength problem in the spot welding process. Base on the study, there are 3 factors that affect the strength of spot welding, namely, Welding Current, Electrode Force, Welding Time. The author conducts a 3^3 factorial design and performs at 0.05 significant levels. The result has shown that all factors affect the strength of spot welding at the standard strength is to set the Welding Current at 8,450 Ampere the Electrode Force at 4.6 kgf and the Weldind Time at 11 second. The setting is then implemented to the real process.

คำสำคัญ: การพัฒนาประสิทธิภาพ การออกแบบการทดลอง การเชื่อมแบบจุด

Key Words: Productivity improvement, Design of experiment, Spot welding

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทนำ

เนื่องจากอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก ดังนั้นจากภาวะความต้องการภายในประเทศและการส่งออกที่เพิ่มขึ้นของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ปัจจุบันทำให้ปริมาณการผลิตและการจำหน่ายชิ้นส่วนยานยนต์ภายในประเทศมีปริมาณและมูลค่าจำหน่ายสูงขึ้น ดังนั้นผู้ประกอบการและผู้เกี่ยวข้องอุตสาหกรรมดังกล่าวจำเป็นต้องปรับตัวเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงและสภาวะการแข่งขันที่เพิ่มมากขึ้น ในการที่จะผลิตชิ้นงานให้ได้คุณภาพดี ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้จึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการควบคุมกระบวนการผลิตที่ดี และมีการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติที่เชื่อถือได้ เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความถูกต้องแม่นยำ สามารถนำข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์และปรับปรุงควบคุมกระบวนการผลิตตลอดจนลดโอกาสเกิดข้อผิดพลาดหรือปัจจัยเสี่ยงอื่นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต (โตกิตา, 2550)

ในโรงงานอุตสาหกรรมในกรณีศึกษาเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตชิ้นส่วนในรถยนต์ให้กับบริษัทประกอบรถยนต์รายใหญ่หลายราย ซึ่งการส่งมอบชิ้นส่วนให้กับผู้ผลิตรถยนต์นั้นจะต้องเป็นงานที่มีคุณภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดทุกอย่าง และจากการศึกษาข้อมูลในอดีตของโรงงานกรณีศึกษาพบว่ามีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำชิ้นงานไปแก้ไขก่อนส่งมอบให้กับลูกค้า ดังนั้นทางฝ่ายผลิตมีความจำเป็นและต้องการที่จะลดปริมาณของเสียให้น้อยลง เพื่อให้เกิดต้นทุนที่เหมาะสมในการทำงาน

ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนการผลิตมากที่สุดและเกิดปัญหามากที่สุด จึงเลือกชิ้นงานฐานใช้เครื่องยนต์ ชื่อชิ้นงาน BASE ASS'Y RR SUSP SPR LH และในการเก็บข้อมูลของปัญหา ซึ่งพบว่ากระบวนการผลิตขั้นตอนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดมีปริมาณของเสียมากที่สุด ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2554 พบของเสียจำนวน

ทั้งสิ้น 480 ชิ้น ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนของเสียในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของโรงงานกรณีศึกษาระหว่างเดือนมกราคม-พฤษภาคม 2554

Part No	Part Name	Defect Q'ty					Total
		Jun	Feb	Mar	Apr	May	
62520 1HHOA	SUPT ASSY RAD CORE SIDE RH	30	15	32	30	25	132
62520 1HJOA	SUPT ASSY RAD CORE SIDE RH	18	14	20	30	18	100
762701 HHOA	BRACE ASSY FR PLR LWR HINGE	1	1	3	1	2	8
76530 1HJOB	PLR ASSY CTR INR RH	2	1	2	5	3	13
762301 HHOA	RLR ASSY FR INR UPR RH	22	20	30	45	40	157
76787 1HHOA	BASE ASSY PR SUSP SPR LH	68	60	90	112	150	480

จากการวิเคราะห์ลักษณะของเสียที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของชิ้นงานฐานโซ่ครยนต์ ชื่อชิ้นงาน BASE ASS'Y RR SUSP SPR LH พบว่ามีของเสียซึ่งสามารถแสดงสัดส่วนของปัญหาได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของเสียที่เกิดในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของชิ้นงานฐานโซ่ครยนต์ ระหว่างเดือน มกราคม-พฤษภาคม 2554

รหัส	ลักษณะของเสียที่เกิดขึ้น	จำนวน (ชิ้น)	% ของเสีย	% สะสม
A	Spot ชิ้นงานไม่ติด	215	44.79	44.79
B	รอยไหม้รอบจุด Spot	110	22.92	67.7
C	รอยยุบตัวของจุด Spot	108	22.50	90.2
D	ปัญหาผิวหน้าของจุด Spot	27	5.63	95.83
E	อื่นๆ	20	4.17	100
	รวม	480	100	100

จากข้อมูลข้างต้นสัดส่วนลักษณะของเสียที่มีมากที่สุดก็คือ Spot ชิ้นงานไม่ติด ปัญหาการ Spot ชิ้นงานไม่ติดเกิดจากกระบวนการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ (Machine set up) ในส่วนของการตั้งค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อมไม่ได้มาตรฐาน โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆข้างต้นมีผลกับคุณภาพรอยเชื่อมของชิ้นงาน เช่น รอยไหม้รอบจุด Spot, รอยยุบตัวของจุด Spot ฯ ซึ่งครอบคลุมถึงปัญหาที่พบรองมา

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะลดปริมาณของเสียที่ได้จากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของชิ้นงานฐานโซ่ครยนต์ และมีแนวความคิดที่จะประยุกต์ใช้หลักของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and Analysis of Experiment) (ปรเมศ, 2545) ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆจากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของชิ้นงานฐานโซ่ครยนต์ เพื่อกำหนดมาตรฐานในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุดและหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาอื่นๆ เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับโรงงาน

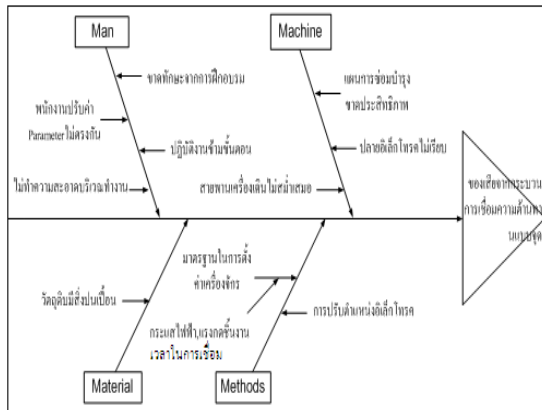
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อลดของเสียในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของชิ้นงานฐานโซ่ครยนต์
2. หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดของชิ้นงาน

วิธีการวิจัย

1. การระบุปัญหา
 - 1) ผลิตภัณฑ์ที่เลือก คือ ฐานโซ่ครยนต์ ชื่อชิ้นงาน BASE ASS'Y RR SUSP SPR LH
 - 2) ลักษณะของปัญหา คือ ในกระบวนการเชื่อมแบบจุดของชิ้นงานฐานโซ่ครยนต์เกิดการ Spot ชิ้นงานไม่ติด และยังมีของเสียลักษณะอื่น ๆ จากตารางที่ 2
 - 3) กระบวนการผลิตที่เลือกคือ กระบวนการเชื่อมแบบจุด
- เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือทางสถิติเรียกว่า แผนภาพก้างปลาหรือแผนภูมิเหตุและผล ในการวิเคราะห์ความผันแปรมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้ที่มีประสบการณ์ เพื่อให้ได้มาซึ่งสาเหตุของปัญหา เพื่อจะได้กำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา

โดยทั่วๆ ไปปัจจัยที่จะส่งผลกระทบต่อความแปรผันของผลิตภัณฑ์ ที่ผลิตได้ไม่คงที่ จะมาจาก 4M คือ คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material), และวิธีการ (Method)



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงสาเหตุของปัญหาของเสียที่มาจากกระบวนการเชื่อมชิ้นงานแบบจุด

จากแผนภาพเหตุและผล สามารถกำหนดรายละเอียดปัจจัยการทดลอง ที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเสียจากกระบวนการเชื่อมชิ้นงานแบบจุดได้ดังต่อไปนี้

- 1) กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมชิ้นงาน
- 2) แรงกดชิ้นงาน
- 3) เวลาในการเชื่อมชิ้นงาน

เนื่องจากในกระบวนการเชื่อมชิ้นงานแบบจุด คนจะมีหน้าที่ในการปรับตั้งค่าเครื่องจักร ในส่วนของวัตถุดิบจะมีการตรวจสอบคุณภาพจากฝ่ายผลิตอยู่แล้ว เพราะฉะนั้น ของเสียที่เกิดขึ้นหรือความแปรผันของผลิตภัณฑ์ในการกระบวนการเชื่อมชิ้นงานแบบจุดส่วนใหญ่จะเกิดจากวิธีการทำงานหรือการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม (อุทุมพร, 2552) และในโรงงานกรณีศึกษาที่มีการปรับตั้งค่าของเครื่องจักรที่ไม่ได้มาตรฐาน ผู้วิจัยจึงต้องการกำหนดมาตรฐานในการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเชื่อมความต้านทานแบบจุด เพื่อที่จะได้เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

2. การออกแบบการทดลอง และทำการทดลองโดยใช้ 3^k Factorial Design

ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) จะประกอบด้วยปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ และเพื่อความน่าเชื่อถือของการทดลอง จะทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้ จะต้องเก็บข้อมูลทั้งหมด $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ หน่วยการทดลอง

ตารางที่ 3 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย			หน่วย
	Low	Medium	Height	
กระแสไฟฟ้า	8450	8600	8750	Ampere
แรงกดชิ้นงาน	3.8	4.2	4.6	Kgf
เวลา	9	10	11	Cycle

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

1. รูปแบบการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้ ขั้นตอนการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) จะประกอบด้วยปัจจัยหลักที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ, ระดับกลาง และระดับสูง การตั้งค่าระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง ได้มาจากการระดับสมองของผู้เชี่ยวชาญ ผู้มีประสบการณ์ และพนักงานหน้าเครื่อง ส่วนระดับกลาง เป็นค่าที่เพิ่มเข้ามาเพื่อให้การทดลองมีความแม่นยำมากขึ้น การจัดลำดับ (Run) ทดลองครั้งนี้ได้จัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสัดส่วน เนื่องจากในการปรับระดับของปัจจัยในการทดลอง คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อม สามารถที่จะปรับตั้งค่าตามที่ต้องการทดลองได้ทันที

ตารางที่ 4 การออกแบบการทดลองมีการทดลองซ้ำ 3
ซ้ำในแต่ละระดับของปัจจัย

A	B	C	Strength		
			Rep1	Rep2	Rep3
8450	3.8	9	41.16	42.4	41.51
8450	3.8	10	61.07	60.46	59.8
8450	3.8	11	61.41	62.2	61.3
8450	4.2	9	64.34	64.33	64.08
8450	4.2	10	64.2	63.8	64.1
8450	4.2	11	65.6	66.6	65.1
8450	4.6	9	52.1	53.7	52.8
8450	4.6	10	61.4	59.7	60.3
8450	4.6	11	66.1	65.9	65.2
8600	3.8	9	34.7	33.56	34.8
8600	3.8	10	53.9	51.58	52.27
8600	3.8	11	49.8	50.61	51.1
8600	4.2	9	54.65	53.83	54.76
8600	4.2	10	57.54	58.97	58.77
8600	4.2	11	52.8	52.14	53.19
8600	4.6	9	41.92	41.81	42.87
8600	4.6	10	63.2	62.31	62.07
8600	4.6	11	62.51	62.76	63.4
8750	3.8	9	45.89	46.52	46.96
8750	3.8	10	46.5	45.9	45.45
8750	3.8	11	48.7	49.6	49.63
8750	4.2	9	46.36	47.43	46.52
8750	4.2	10	58.55	58.29	58.77
8750	4.2	11	56.4	55.8	56.1
8750	4.6	9	49.85	49.61	50.85
8750	4.6	10	57.88	58.48	57.3
8750	4.6	11	51.65	50.77	52.6

*A แทน Welding Current

B แทน Electrode Force

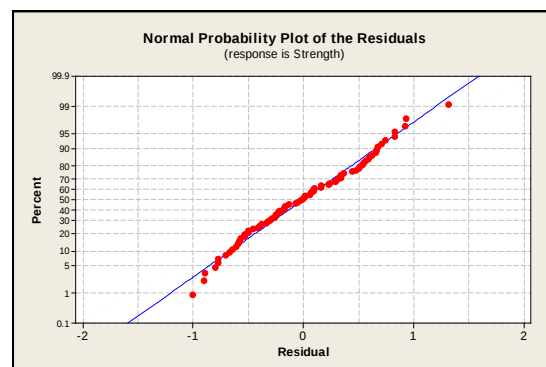
C แทน Welding Time

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองซ้ำที่ระดับปัจจัยต่างๆ เป็นจำนวน 3 ซ้ำ (3 Replicate) แล้วทำการเก็บข้อมูลในตารางบันทึกผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ดังตารางที่ 4 และในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 14 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2. การทดสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

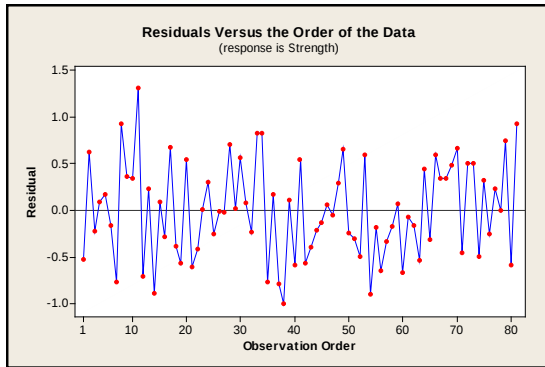
Montgomery (2005) กล่าวว่า ก่อนที่จะนำข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้จะต้องมีการตรวจสอบความเพียงพอของการทดลองที่จะนำมาใช้เสียก่อน เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคือการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ซึ่งประกอบด้วย

1) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยพิจารณาจากรูปที่ 2 พบว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ทำให้ประมาณได้ว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีการแจกแจงแบบปกติ



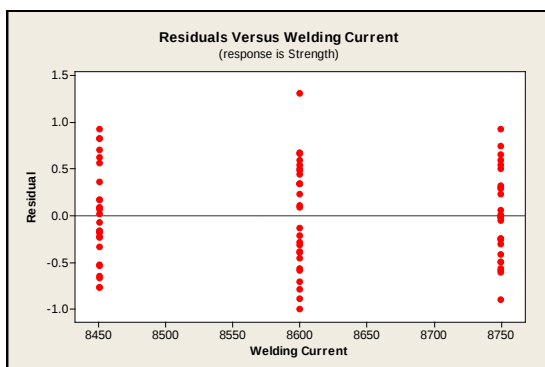
รูปที่ 2 กราฟแสดงการกระจายแบบปกติของค่า
Residuals

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) โดยพิจารณาจากรูปที่ 3 พบว่า การกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีความเป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent)



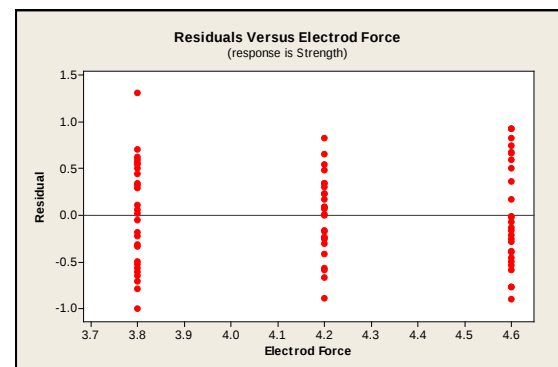
รูปที่ 3 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ Observation Order

3) การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) สามารถสร้างเป็นแผนภูมิแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับระดับของปัจจัยทุกตัว จากรูปที่ 4 แสดงถึงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ของค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) เทียบกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม เมื่อพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่าค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ในแต่ละระดับของปัจจัยที่กระจายในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์ (0)



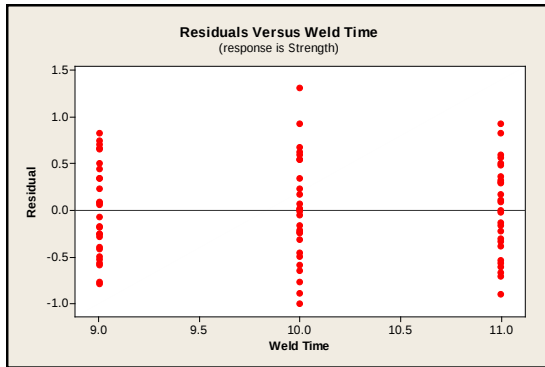
รูปที่ 4 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม

และจากภาพที่ 5 แสดงถึงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ของค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) เทียบกับแรงกดชิ้นงาน เมื่อพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ในแต่ละระดับของปัจจัยที่กระจายในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์ (0)



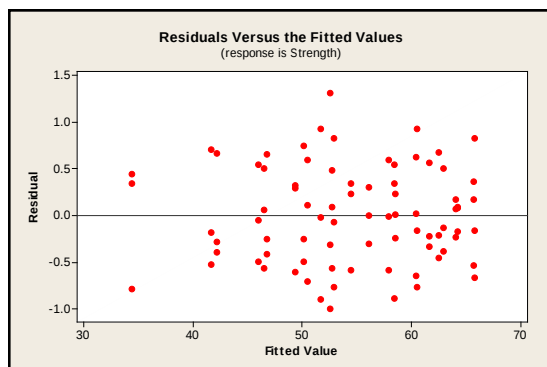
รูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบ กับ แรงกดชิ้นงาน

และจากภาพที่ 6 แสดงถึงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ของค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) เทียบกับเวลาที่เชื่อมชิ้นงาน เมื่อพิจารณาการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) พบว่า ค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ในแต่ละระดับของปัจจัยที่กระจายในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์ (0)



รูปที่ 6 แสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบ กับ เวลาที่เชื่อมชิ้นงาน

4) การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability) โดยพิจารณาจากรูปที่ 7 พบว่า σ^2 ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) มีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน



รูปที่ 7 กราฟแสดงการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับ Fitted Value

จากรูปที่ 4 ถึงรูปที่ 8 พบว่าการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความ

น่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นต่อไปได้

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองพบว่า ไม่มีความผิดปกติของการทดลองเกิดขึ้นและข้อมูลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยทั้งหมด โดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซนต์ ($\alpha=0.05$)

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ (3^k Factorial Design)

Analysis of Variance for Strength, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Welding Current	2	1105.00	1105.00	552.50	1403.88	0.000
Electrod Force	2	1148.17	1148.17	574.08	1458.72	0.000
Weld Time	2	1627.35	1627.35	813.68	2067.52	0.000
Welding Current*Electrod Force	4	116.25	116.25	29.06	73.85	0.000
Welding Current*Weld Time	4	242.86	242.86	60.72	154.28	0.000
Electrod Force*Weld Time	4	282.73	282.73	70.68	179.60	0.000
Welding Current*Electrod Force*Weld Time	8	697.77	697.77	87.22	221.63	0.000
Error	54	21.25	21.25	0.39		
Total	80	5241.38				

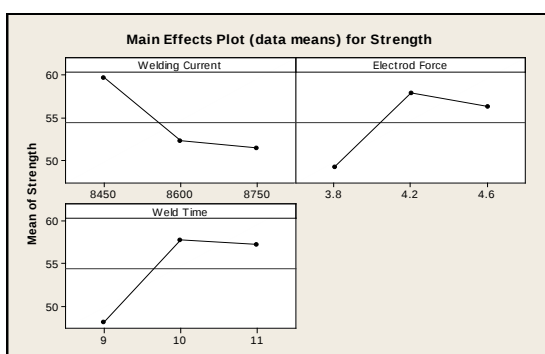
S = 0.627337 R-Sq = 99.59% R-Sq(adj) = 99.40%

จากตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) โดยใช้โปรแกรมทางสถิติพบว่า กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อมมีผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) อย่างมีนัยสำคัญ

จากข้อมูลที่วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 14 พบว่าให้ค่า $R^2 = 99.59\%$ และค่า $R^2_{Adj} = 99.40\%$ จึงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ดี จากค่า P-Value ของปัจจัยหลัก ทั้งกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อมเท่ากับ $0.000 < \alpha$ (ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดไว้ $\alpha = 0.05$) เราจึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ตัวแปรด้อย ปัจจัยกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อม มีผลอย่างมีนัยสำคัญ

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลักจาก 3 ปัจจัย ดังรูปที่ 8 พบว่า ปัจจัยกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมมีลักษณะเส้นกราฟชันลง ซึ่งหมายความว่า เมื่อได้ทำการเพิ่มกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) ลดลง และเมื่อผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) ในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดคือ การปรับค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อมชิ้นงานที่มีค่ากระแสมากจะทำให้ความแข็งแรงของชิ้นงานในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

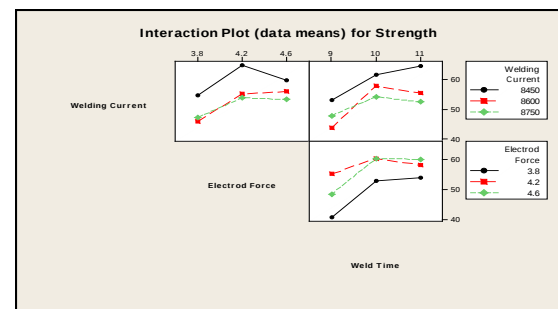
การพิจารณาปัจจัยแรงกดชิ้นงานและเวลาที่ใช้เชื่อมชิ้นงานพบว่า ลักษณะเส้นกราฟชันขึ้นจนถึงค่ากลางที่กำหนดในระดับปัจจัยแล้วชันลงเมื่อเข้าใกล้ค่าระดับปัจจัยสูงสุด ซึ่งหมายความว่า เมื่อผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มแรงกดชิ้นงานและเวลาที่ใช้เชื่อมชิ้นงานในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด จะส่งผลให้เกิดความแข็งแรงของชิ้นงานมากขึ้นจนถึงค่ากลางที่กำหนดในระดับปัจจัย เมื่อเข้าใกล้ค่าระดับปัจจัยระดับสูงที่กำหนดไว้ ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัย

จากรูปที่ 9 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อมของกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด มีผล

ต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 8450 Ampere แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 4.6 Kgf และเวลาในการเชื่อมชิ้นงานเท่ากับ 11 Second ทำให้ค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) ในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด มากกว่าการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อมระดับอื่น



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย

4. การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

การทดลองหาสภาวะปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) ในกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 14 เลือกใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยปัจจัยที่ได้นำมาพิจารณาประกอบด้วยค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10

Optimal D 1.0000	Hi Cur Lo	Welding 8750.0 [8450.0] 8450.0	Electrod 4.60 [4.60] 3.80	Weld Tim 11.0 [11.0] 9.0
Strength Maximum y = 65.5497 d = 1.0000				

รูปที่ 10 กราฟแสดงผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากการทดลองใช้ Response Optimizer โปรแกรม Minitab Version 14 ในการวิเคราะห์ข้อมูลและรูปที่ 10 พบว่า ถ้าต้องการให้เกิดค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน (Strength) สูงที่สุดจะต้องเลือกใช้ ระดับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 8450 Ampere แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 4.6 Kgf และเวลาในการเชื่อมชิ้นงานเท่ากับ 11 Second จากการทดลองเชื่อมด้วยปัจจัยข้างต้น จะได้ค่าความแข็งแรงของชิ้นงานเท่ากับ 65.55 kgf/cm² ซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดและมากกว่าค่ามาตรฐานที่ทางโรงงานกรณีศึกษากำหนดและบรรลุตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของชิ้นงานจากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุด คือ กระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อม แรงกดชิ้นงาน และเวลาในการเชื่อม โดยสามารถกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมได้ ดังนี้ คือ ระดับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เชื่อมเท่ากับ 8450 Ampere แรงกดชิ้นงานเท่ากับ 4.6 Kgf และเวลาในการเชื่อมชิ้นงานเท่ากับ 11 Second

เมื่อนำผลการวิจัยไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง พบว่าค่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดการตรวจสอบค่าความแข็งแรงจากกระบวนการเชื่อมความต้านทานแบบจุดสามารถลดจำนวนของเสียจาก 44.79% เหลือเพียง 3.58% จึงได้นำผลการวิจัยนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีเครื่องตัดมากมายซึ่งบางเครื่องก็ไม่มีมาตรฐานในการตั้งค่าพารามิเตอร์ ดังนั้น สามารถนำการสร้างมาตรฐานในการทำงานของเครื่องจักรไปใช้กับเครื่องจักรรุ่นๆอื่น เพื่อหาค่าที่เหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีต้องขอกราบขอบพระคุณความกรุณาจาก รศ.สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก เป็นอย่างสูงที่กรุณาใช้เวลาให้แนวคิดและคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนตรวจสอบข้อบกพร่องในการทำวิจัย อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- ปรเมศ ชูติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุทุมพร พงษ์อุดม. 2552. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมท่ออลูมิเนียมจากกระบวนการรีดขึ้นรูปกรณีศึกษาโรงงานผลิตหม้อน้ำรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- โสภิตา ท้วมมี. 2550. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Montgomery, Douglas C. 2005. Design and Analysis of Experiments. 6th ed. The United States of America: John Wiley & Sons.