



DEFECTIVE REDUCTION FROM WELDING SPLASH IN MOTORCYCLE BATTERY  
PRODUCTION PROCESS

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

การลดของเสียจากปัญหาเย็บระเบิดในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่จักรยานยนต์  
DEFECTIVE REDUCTION FROM WELDING SPLASH IN MOTORCYCLE BATTERY  
PRODUCTION PROCESS

เกียรติศักดิ์ น้อยราช<sup>1</sup> และปารเมศ ชุตินา<sup>2</sup>

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากปัญหาเย็บระเบิดในกระบวนการเชื่อมสะพานไฟของแบตเตอรี่จักรยานยนต์ โดยการประยุกต์แนวคิด ชิซึ ชิโกมา งานวิจัยเริ่มจากการนิยามปัญหา ต่อมาในเฟสการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาได้เลือกปัจจัยนำเข้าหลักมาพิสูจน์ความมีนัยสำคัญในเฟสการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคตอเรียล 2k แบบ 2 เรพลิเคต ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแบตเตอรี่เย็บระเบิดอย่างมีนัยสำคัญประกอบด้วยปัจจัยหลัก คือ ระยะกุดของหัว Tip แรงดันลม และกระแสไฟฟ้า และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย คือ แรงดันลม กับกระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยที่มีผลดังกล่าวมาวิเคราะห์ด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการตั้งค่าเครื่องเชื่อมสะพานไฟ ซึ่งพบว่าควรตั้งพารามิเตอร์ของกระบวนการดังนี้ ระยะกุดของหัว Tip ที่ 1 มม. แรงดันลมที่ 30.6 Kg./cm<sup>2</sup>. และกระแสไฟฟ้าที่ 8.86 KA. ผลหลังการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียจากปัญหาเย็บระเบิดลดลงเฉลี่ยจาก 3.61% เหลือเพียง 0.11% เท่านั้น

คำสำคัญ: ชิซึ ชิโกมา, การเชื่อมความต้านทานแบบจุด

ABSTRACT

This research has the objectives to defective reduction from welding splash problem in motorcycle battery production process. The Six Sigma approach was applied to solve this problem. Firstly, the problem statement was defined. Next, find out the major cause of the defective problem. This research applied the design of experiment (DOE) technique by using the 2k full factorial design with two replicates for screening out the factors, founding top three factors which impact to the defective percentage, including stopper distance of tip, pressure and current, then used the Response Surface Methodology to optimize the level of significant factors. Founding optimal machine setting should be 1 mm. of the stopper distance of tip, 30.6 Kg/cm<sup>2</sup> of the pressure and 8.86 KA. After improvement, the defective rate from welding splash defect was decreased from 3.61% to 0.11%.

**KEYWORD:** six sigma, resistance spot welding

## 1. บทนำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าปัญหาเย็บระเบิด (Welding Splash) เป็นปัญหาหลักที่พบในกระบวนการประกอบแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ โดยปัญหาเย็บระเบิดนั้นเกิดจากเนื้อของตะกั่วจะระเบิดและหลุดออกมาขณะทำการเชื่อมสะพานไฟ ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมสะพานไฟของแบตเตอรี่ (Intercell Welding) สำหรับวิธีการเชื่อมเป็นการเชื่อมชนิดความต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding) ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดซิกซ์ซิกม่าเข้ามาประยุกต์ในการแก้ปัญหาดังกล่าว อันประกอบไปด้วยระยะ (Phase) การดำเนินงานต่าง ๆ ดังนี้ ระยะการนิยามปัญหา ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยการออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคตอเรียล 2k แบบ 2 เรพลิเคต (2k Full Factorial Design with Two Replicates) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเย็บระเบิดอย่างมีนัยสำคัญ ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการโดยการออกแบบการทดลองแบบวิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการตั้งค่าเครื่องเชื่อมสะพานไฟ และสุดท้ายระยะการติดตามควบคุม เพื่อยืนยันผล

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในขั้นตอนการทำวิจัยได้ดำเนินงานวิจัยตามแนวคิด 5 ระยะของซิกซ์ ซิกม่า โดยได้ศึกษางานวิจัยของธีรพร เสนพรหม (2550) ในหัวข้องานวิจัยเรื่องการลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกม่า และธีรรัตน์ พวงพุ่ม (2554) ในหัวข้องานวิจัยเรื่องการลดปัญหาแบตเตอรี่รั่วลมโดยประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ซิกม่า โดยวิธีการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 5 ระยะดังนี้

### 2.1 ระยะการนิยามปัญหา (Define Phase)

จากการพิจารณาสัดส่วนของเสียของโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่เดือนมกราคม 2556 ถึงเดือน มิถุนายน 2556 พบว่า สัดส่วนของเสียที่กระบวนการผลิตแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์มีสัดส่วนของเสียมากที่สุดเท่ากับ 1.206 และพบว่ากระบวนการประกอบแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์เป็นกระบวนการที่เกิดสัดส่วนของเสียมากที่สุด โดยการศึกษาพบว่าปัญหาเย็บระเบิดเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียมากที่สุด คิดเป็นสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.55 % หรือ 34.6 % ของของเสียทั้งหมด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจที่จะปรับปรุงปัญหาเย็บระเบิดของแบตเตอรี่รุ่น FTZ10S และ FTZ12S ที่กระบวนการประกอบแบตเตอรี่รถจักรยานยนต์ เนื่องจากมีสัดส่วนของเสียสูงที่สุด ปัญหาเย็บระเบิดเกิดขึ้นที่กระบวนการเชื่อมสะพานไฟของแบตเตอรี่ ซึ่งใช้การเชื่อมชนิดความต้านทานแบบจุด โดยเนื้อของตะกั่วจะระเบิดกระจายออกมาขณะทำการเชื่อมสะพานไฟ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างปัญหาเย็บระเบิด

### 2.2 ระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด โดยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะ (Attribute

Agreement Analysis) โดยพบว่าโดยทุกหัวข้อผ่านเกณฑ์ระบบการวัดแบบคุณลักษณะที่ 100% ดังนี้ ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% appraiser score) ความไม่ลำเอียงของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score) ประสิทธิภาพด้านความสามารถในการวัดซ้ำของการตรวจสอบ (% screen effective score) และประสิทธิผลความไม่ลำเอียงของการตรวจสอบ (% attribute screen effective score)

หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้ระดมสมองกับทีมงานของโรงงาน เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่อาจก่อให้เกิดปัญหาเย็บระเบิด โดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อระดมความคิดและหาสาเหตุที่คาดว่าจะส่งผลต่อปัญหาเย็บระเบิด แล้วนำสาเหตุทั้งหมดมาให้ความสำคัญด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ซึ่งสามารถสรุปสาเหตุปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปัญหาเย็บระเบิดโดยพิจารณาจากคะแนนที่มากกว่า 100 คะแนน และมีความแตกต่างกับปัจจัยที่เหลืออื่นอย่างชัดเจน สามารถแบ่งปัจจัยหลักได้เป็น 9 สาเหตุ จากงานวิจัยของ ไพฑูรย์ วิชรวงศ์ภิญโญ (2551) และ สุชาตมาโนชัย (2555) โดยพบว่าปัจจัยทางด้านเวลาในการเชื่อมเป็นสาเหตุหนึ่งซึ่งส่งผลต่อปัญหาเย็บระเบิด ดังนั้นจึงสรุปสาเหตุของปัญหาทั้งหมดได้ดังนี้

สาเหตุปัจจัยจากคน 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) พนักงานขาดความรู้ในการปรับตั้งเครื่อง 2) พนักงานขาดประสบการณ์ 3) พนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐาน

สาเหตุของปัจจัยจากเครื่องจักร 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) ระยะเวลาของหัว Tip 2) แรงดันลมหรือแรงกดที่ตัวสิ่งบีบชา Weld 3) กระแสไฟฟ้า และ 4) ระยะเวลาในการเชื่อม (ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า)

สาเหตุของปัจจัยจากวิธีการ 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ไม่มีมาตรฐานที่ป้องกันการใส่หัว Tip ผิดตำแหน่ง 2) การตั้งค่าระยะกดและถ่างที่มีความผิดพลาดสูง 3) ไม่มีมาตรฐานการควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ก่อนการเชื่อมสะพานไฟ

### 2.3 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาผู้วิจัยได้ศึกษาเพื่อคัดกรองปัจจัยจากเครื่องจักรที่ส่งผลต่อปัญหาเย็บระเบิดซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัย 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) ระยะเวลาของหัว Tip 2) แรงดันลมหรือแรงกดที่ตัวสิ่งบีบชา Weld 3) กระแสไฟฟ้า และ 4) ระยะเวลาในการเชื่อม (ระยะเวลาในการปล่อยกระแสไฟฟ้า) ในส่วนของสาเหตุทางด้านคนและวิธีการทางผู้วิจัยได้สรุปในเฟสการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

#### 2.3.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE)

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคตอเรียล 2k แบบ 2 เรพลีเคต (2k Full Factorial Design with Two Replicates) เพื่อหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาเย็บระเบิด

#### 2.3.2 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในการออกแบบการทดลอง (Input Factor)

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้มีปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด 4 ปัจจัยโดยกำหนดระดับของการทดลองของแต่ละปัจจัยนำเข้าเป็นปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) โดยกำหนดให้ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

#### 2.3.3 ตัวแปรตอบสนอง (Response)

ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการทดลองนี้จะพิจารณาจากผลกระทบจากการเชื่อมสะพานไฟ โดยโรงงานกรณีศึกษาสนใจที่ค่า VDT (Volt Difference Tester) ซึ่งเป็นตัวแทนของคุณภาพการเชื่อมสะพานไฟ โดยจากการทดลองภายในโรงงานกรณีศึกษาค่า VDT ของแบตเตอรี่รุ่น FTZ10S และ FTZ12S คือ ค่าที่อยู่ระหว่าง 0.050-0.260 V. หาก ค่า VDT มีค่าเกิน 0.260 V. จะส่งผลทำให้เกิดปัญหาแบตเตอรี่ระเบิด ในกรณีคุณภาพการเชื่อมสะพานไฟไม่ดี เกิดปัญหาเย็บระเบิด พื้นที่หน้าตัดของรอยเชื่อมจะมีค่าน้อยลง เมื่อปล่อยกระแสเข้าสู่รอยเชื่อม และทำการวัดค่า VDT จะส่งผลให้ค่า VDT มีค่าสูง และสูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีพื้นที่

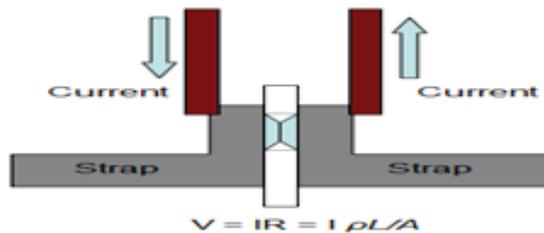
หน้าตัดของรอยเชื่อมที่เติมน้ำตัด หลักการวัดค่า VDT ของแบตเตอรี่จะวัดค่าโวลต์คร่อมรอยเชื่อมของสะพานไฟดังรูปที่ 2

### 2.3.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เนื่องจากการเชื่อมสะพานไฟแบตเตอรี่ 1 ลูกจะผ่านเครื่องเชื่อมสะพานไฟ 3 เครื่องดังนั้นผู้จัดทำวิทยานิพนธ์จะทำการวิเคราะห์แยกตามเครื่องเชื่อมสะพานไฟแต่ละเครื่อง ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องตรวจสอบถึงความเพียงพอของรูปแบบจำลอง สามารถตรวจสอบข้อมูลได้จากรูปแบบความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการหรือไม่ ด้วยการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามหลักสมมติฐาน 3 ข้อ สรุปได้คือ 1) ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 1 ระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญ

สัญลักษณ์	ปัจจัย	หน่วย	ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (+1)
A	ระยะกตของหัว Tip	mm.	0.8	1.2
B	แรงดันลม	Kg. /cm <sup>2</sup>	30	32
C	กระแสไฟฟ้า	KA.	8.6	9.2
D	ระยะเวลาในการเชื่อม	Cycle	2	4



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่อง VDT

2) ความเป็นอิสระของข้อมูล (Independently Distribution) การกระจายตัวของส่วนตักค้ำมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีข้อมูลที่เป็นแบบแนวโน้ม หรือรูปที่แน่นอน สรุปคือข้อมูลมีความเป็นอิสระทั้ง 3 เครื่อง 3) ความมีเสถียรภาพของค่าแปรปรวน (Stability of Variance) ส่วนตักค้ำมีการกระจายตัวแบบสุ่ม สรุปคือข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าแปรปรวนทั้ง 3 เครื่อง ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูล VDT ไปวิเคราะห์โดยโปรแกรมมินิแทป พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า VDT หรือแบตเตอรี่เย็บระเบิดในกระบวนการเชื่อมสะพานไฟที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งเหมือนกันทั้ง 3 เครื่อง ได้แก่ ปัจจัยหลัก (Main Effect) จำนวน 3 ปัจจัย คือ ระยะกตของหัว Tip (A) แรงดันลม (B) และกระแสไฟฟ้า (C) และอันตรกิริยาระหว่างคู่ปัจจัย (Interaction Effect) จำนวน 1 ปัจจัย คือ แรงดันลมกับ กระแสไฟฟ้า (BC)

## 2.4 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

### 2.4.1 การปรับปรุงปัจจัยด้านคนและวิธีการ

จากการวิเคราะห์สาเหตุปัจจัยจากคน 3 ปัจจัยและจากวิธีการ 3 ปัจจัย สามารถสรุปสาเหตุของปัญหาเป็น 2 ประเด็นหลัก และวิธีการปรับปรุงดังนี้

- 1) เรื่องมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ไม่ชัดเจน

จากการวิเคราะห์พบว่ามาตรฐานการทำงานมีการกำหนดไว้ไม่ครอบคลุมการปฏิบัติงาน ส่งผลให้พนักงานทำงานโดยอาจปฏิบัติงานไม่เหมือนกันทุกครั้ง และในบางครั้งในกรณีที่พนักงานไม่แน่ใจในการปฏิบัติงานพนักงานไม่แจ้งต่อหัวหน้างาน โดยอาจปฏิบัติงานและตัดสินใจเอง และอาจไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน ดังนั้นจึงกำหนดการแก้ไขดังนี้ จัดทำจิ๊กเพื่อกำหนดระยะในการปรับตั้งคาร์ระยะกุดและระยะถ่างของหัวทิวเพื่อง่ายต่อการปรับตั้งค่า กำหนดมาตรฐานการการใส่หัวทิวผิดตำแหน่ง กำหนดควบคุมอุณหภูมิแบตเตอรี่ก่อนการเชื่อมสะพานไฟโดยกำหนดเวลาที่ชัดเจนหลังจากออกจากเตาอบก่อนเข้าเครื่องเชื่อมสะพานไฟ และกำหนดแผนการอบรมการปรับตั้งเครื่องเชื่อมสะพานไฟ

#### 2) พนักงานขาดประสบการณ์ในการปรับตั้งเครื่อง

จากการวิเคราะห์พนักงานขาดความรู้และทักษะในการปรับตั้งเครื่องและควบคุมในการปฏิบัติงาน ซึ่งพบว่าโรงงานยังมีการฝึกอบรมพนักงานใหม่ยังไม่เพียงพอ โดยการสอนงานก่อนปฏิบัติงานอาจใช้เวลาสั้น ๆ และไม่เพียงพอ เมื่อพบปัญหาในการปฏิบัติงาน ทำให้พนักงานขาดประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหา ดังนั้นจึงกำหนดการแก้ไขโดยกำหนดหลักสูตรการฝึกอบรมสำหรับพนักงานที่ปฏิบัติงานประจำเครื่องเชื่อมสะพานไฟ โดยกำหนดสำหรับพนักงานใหม่ และการอบรมซ้ำสำหรับพนักงานเก่า พร้อมการประเมินทุกครั้งหลังการอบรม

#### 2.4.2 การปรับปรุงปัจจัยด้านเครื่องจักร

ในระหว่างการปรับปรุงจะนำปัจจัยที่ได้จากการคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาเย็บระเบิดอย่างมีนัยสำคัญ ไปออกแบบการทดลองเพิ่มเติมด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) แบบ Box-Behnken Design ซึ่งกำหนดระดับในการทดลองของแต่ละปัจจัยที่ 3 ระดับ เพื่อให้สามารถหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าแต่ละปัจจัยของเครื่องเชื่อมสะพานไฟที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาเย็บระเบิด กำหนดระดับของการทดลองของเครื่องเชื่อมสะพานไฟทั้ง 3 เครื่อง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับของการทดลองในการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับ			หน่วย
		-1	0	1	
A	ระยะกุดของหัว Tip	0.8	1	1.2	mm.
B	แรงดันลม	30	31	32	Kg/cm <sup>2</sup> .
C	กระแสไฟฟ้า	8.6	8.9	9.2	KA.

#### 2.4.3 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เมื่อนำผลการการทดลองของค่า VDT จากเครื่องเชื่อมสะพานไฟทั้ง 3 เครื่อง ทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามหลักสมมติฐาน 3 ข้อสรุปได้คือ 1) ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากกราฟ Normal Probability Plot จากทั้ง 3 เครื่อง ลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และ ค่าของ P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 2) ข้อมูลมีความเป็นอิสระ เนื่องจากการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีรูปแบบการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่มีข้อมูลที่เป็นแบบแนวโน้ม หรือรูปที่แน่นอน 3 เครื่อง 3) ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าแปรปรวน (Stability of Variance) ส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบสุ่ม สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้วิเคราะห์ต่อได้

ผลการทดลองที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง VDT จากเครื่องเชื่อมสะพานไฟทั้ง 3 เครื่อง ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ได้แก่แรงดันลม (B) และกระแสไฟฟ้า (C) และยังพบว่าพจน์กำลังสองของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง VDT จากเครื่องเชื่อมสะพานไฟที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.0005

ผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์ด้วยหลักการ Response Optimization โดยการใช้โปรแกรม Minitab เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องเชื่อมสะพานไฟทั้ง 3 เครื่อง สรุปแยกตามเครื่องเชื่อมสะพานไฟแต่ละ

เครื่องได้ดังนี้

เครื่องเชื่อมสะพานไฟที่ 1 ทำให้ค่าพยากรณ์ (y) ค่า VDT มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.1599 V. คือ ระยะกดของหัวTip (A) ที่ 1.01 มม.แรงดันลม (B) ที่ 30.59 Kg/cm<sup>2</sup> และกระแสไฟฟ้า (C) ที่ 8.85 KA. ที่ความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1 โดยผลสมการของวิธีพื้นผิวผลตอบ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$Y = 54.9427 + 0.0973X_A - 0.6956X_B - 9.9805X_C + 0.1792X_A^2 + 0.0113X_B^2 + 0.5588X_C^2 - 0.0169X_{AB} + 0.0063X_{AC} + 0.0025X_{BC} \quad (1)$$

เครื่องเชื่อมสะพานไฟที่ 2 ทำให้ค่าพยากรณ์ (y) ค่า VDT มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.1566 V. คือ ระยะกดของหัวTip (A) ที่ 1.03 มม.แรงดันลม (B) ที่ 30.63 Kg/cm<sup>2</sup> และกระแสไฟฟ้า (C) ที่ 8.86 KA. ที่ความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1 โดยผลสมการของวิธีพื้นผิวผลตอบ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2

$$Y = 57.5441 - 0.1211X_A - 0.8039X_B - 10.1621X_C + 0.1448X_A^2 + 0.0123X_B^2 + 0.5602X_C^2 - 0.0112X_{AB} + 0.0188X_{AC} + 0.0071X_{BC} \quad (2)$$

เครื่องเชื่อมสะพานไฟที่ 3 ทำให้ค่าพยากรณ์ (y) ค่า VDT มีค่าต่ำที่สุด เท่ากับ 0.164 V. คือ ระยะกดของหัวTip (A) ที่ 1.04 มม.แรงดันลม (B) ที่ 30.67 Kg/cm<sup>2</sup> และกระแสไฟฟ้า (C) ที่ 8.85 KA. ที่ความพึงพอใจรวมเท่ากับ 1 โดยผลสมการของวิธีพื้นผิวผลตอบ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 3

$$Y = 56.6946 + 0.1854X_A - 0.8121X_B - 9.9745X_C + 0.1333X_A^2 + 0.0123X_B^2 + 0.5481X_C^2 - 0.0175X_{AB} + 0.0083X_{AC} + 0.0083X_{BC} \quad (3)$$

เนื่องจากระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าของเครื่องเชื่อมสะพานไฟในแต่ละเครื่องมีค่าที่แตกต่างกัน แต่มีค่าใกล้เคียงกัน และทำให้ผลของค่า VDT มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการตั้งค่าของเครื่องเชื่อมสะพานไฟทั้ง 3 เครื่องดังนี้ ระยะกดของหัว Tip ที่ 1 มม. แรงดันลม ที่ 30.60 Kg/cm<sup>2</sup> และกระแสไฟฟ้าที่ 8.85 KA.

### 2.5 ระยะเวลาทดสอบและยืนยันผล (Control Phase)

เมื่อนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมมาตั้งค่ากับเครื่องเชื่อมสะพานไฟและทดสอบโดยแบ่งเป็นแบตเตอรี่ FTZ10S จำนวน 30 ลูก และ FTZ12S จำนวน 30 ลูก ปรากฏว่าแบตเตอรี่ทั้ง 2 รุ่นไม่พบปัญหาเย็บระเบิด และให้ค่า VDT เฉลี่ยอยู่ที่ 0.163 V. ดังนั้นจึงนำระดับของปัจจัยที่ได้จากทดลองไปปรับตั้งในการผลิตจริง พบว่าสัดส่วนของเสียจากปัญหาเย็บระเบิดลดลงเฉลี่ยจาก 3.61% เหลือเพียง 0.11% เท่านั้นและจากนั้นจึงได้จัดทำแผนภาพควบคุม (Control Chart) เพื่อติดตามค่าตัวแปรตอบสนองเพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง ซึ่งพบว่าปัจจุบันไม่พบการทำงานที่ออกนอกสภาพการควบคุม (Out of Control)

### 3. สรุป

จากงานวิจัยสามารถหาระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องเชื่อมสะพานไฟ เพื่อลดปัญหาเย็บระเบิดโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง แบบเชิงแฟคตอเรียล 2k แบบ 2 เรพลีเคต เพื่อคัดกรองหาความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาเย็บระเบิด และวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology) แบบ Box - Behnken Design เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าแต่ละปัจจัยของเครื่องเชื่อมสะพานไฟที่ทำให้ค่า VDT มีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่าประมาณ 0.160 V. โดยค่าของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องเชื่อมสะพานไฟประกอบด้วย ระยะกดของหัว Tip ที่ 1 มม.แรงดันลม ที่ 30.60 Kg/cm<sup>2</sup>

---

และกระแสไฟฟ้าที่ 8.85 KA จากการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียจากปัญหาเย็บระเบิดลดลงเฉลี่ยจาก 3.61% เหลือเพียง 0.11% เท่านั้น

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิบัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt, ซีเอ็ดยุคชั่น, กรุงเทพฯ, 2548.
- [2] อีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [3] อีรรัตน์ พงษ์พุ่ม. การลดปัญหาแบตเตอรี่รั่วลมโดยประยุกต์ใช้แนวคิดซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- [4] ไพฑูรย์ วิชรวงศ์ภิญโญ. การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเชื่อมความต้านทานชนิดจุดของเหล็กเหนียวรีดเย็น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.
- [5] สุชาติ มะโนชัย. ปัจจัยการเชื่อมความต้านทานแบบจุดที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมสำหรับเหล็กคาร์บอนต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2555.
- [6] Miller. Handbook for Resistance Spot Welding, 2005. See <http://www.millerwelds.com/pdf/Resistance.pdf>. Accessed 29/06/ 2013