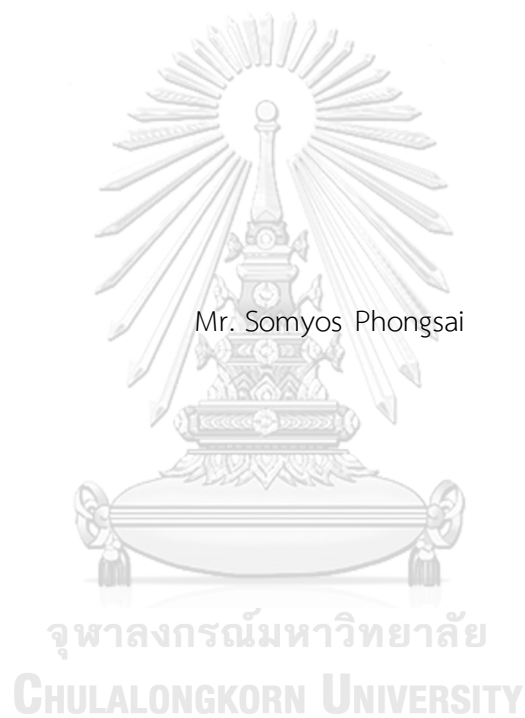


การลดข้อบกพร่องในงานดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้าที่มาจากการแจ้งข้อร้องเรียน
หลังการใช้งานรถบรรทุกของลูกค้า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEFECTS REDUCTION OF MODIFICATION AS CUSTOMER REQUIREMENTS FROM THE
COMPLAINTS AFTER USE.



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดข้อบกพร่องในงานตัดแปลงรบบรรทุกตามความต้องการของลูกค้าที่มาจากการแจ้งข้อร้องเรียนหลังการใช้งานรถบรรทุกของลูกค้า
โดย	นายสมยศ ผ่องใส
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์จรัสพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุตินา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์จรัสพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)	

สมยศ ผ่องใส : การลดข้อบกพร่องในงานดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้า
 ที่มาจากการแจ้งข้อร้องเรียนหลังการใช้งานรถบรรทุกของลูกค้า. (DEFECTS
 REDUCTION OF MODIFICATION AS CUSTOMER REQUIREMENTS FROM THE
 COMPLAINTS AFTER USE.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องจากข้อร้องเรียนของลูกค้าในงาน
 ดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทการศึกษา โดยศึกษาส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการ
 ของลูกค้า ข้อร้องเรียนจากข้อบกพร่องประเภทแชนซีเสียหายเป็นเรื่องที่ถูกแจ้งมากที่สุด ซึ่งส่งผล
 ต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน และภาพลักษณ์ที่ไม่ดีต่อบริษัท ผู้วิจัยจึงนำเอาเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า
 (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ ดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC เพื่อปรับปรุง และพัฒนา
 กระบวนการดัดแปลงในส่วนงานเชื่อมโลหะให้มีคุณภาพ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบี
 ออกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ปัจจัยที่ใช้ทำการทดลอง
 มี 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ซึ่งในการทดลองผู้วิจัย
 ทำการศึกษาพฤติกรรมของพนักงานเชื่อม โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้า และ
 กลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ ผลจาก
 การทดลองพบว่า ปัจจัยกระแสไฟ แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ส่งผลกระทบ
 ต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้า
 กระแสไฟ 185 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟ 150 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลุม 20 ลิตร/นาที
 และกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว กระแสไฟ 235 แอมแปร์ แรงเคลื่อนไฟ 175 โวลท์ และอัตราการ
 ไหลของแก๊สคลุม 30 ซม./นาที จากผลของการปรับปรุงครั้งนี้ทำให้สัดส่วนของเสียที่เกิด
 ข้อบกพร่องในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุก ส่วนงานเชื่อมโลหะ จาก 0.60% ลดลงเหลือ
 0.12% และจาก 0.72% ลดลงเหลือ 0.20% ของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้า และเร็ว ตามลำดับ
 ทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายงานซ่อมแซมของบริษัทศึกษาลงได้

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6070977321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Six sigma, Design of experiment, Truck modification, Faults,
Complaints, Welding

Somyos Phongsai : DEFECTS REDUCTION OF MODIFICATION AS CUSTOMER
REQUIREMENTS FROM THE COMPLAINTS AFTER USE.. Advisor: Assoc. Prof.
JEERAPAT NGAOPRASERTWONG

This research aims to decrease faults from the complaints by the customer from the case study company's truck modification, focusing on customer's order truck modification. The study has shown that damaged chassis have the greatest number of complaints, which negatively affects both safety of users and the company's image. Therefore, the researcher has applied the Six Sigma technique with DMAIC methods to improve the quality of welding modification process. The Box-Behnken Design has been used to find the appropriate level of factors – from the three factors used in the study which are current, voltage and gas flow. In the experiment, the researcher studied the behavior of welding staff divided into 2 groups. There are slow and fast welding behavior group. The researcher has collected and analyzed statistical significance showing that current, voltage and gas flow have significantly caused the faults: the appropriate for slow welding behavior group, current is 185A, voltage is 150V and gas flow is 20 liter/min and fast welding behavior group, current is 235A, voltage is 175V and gas flow is 30 liter/min. This improvement has diminished proportion of faults in welding modification process from 0.60% to 0.12% and from 0.72% to 0.20% for slow and fast welding behavior group respectively which resulted in decreased repairing expenses of the case study company.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เริ่มต้นขึ้นได้จากการชี้แนะของ คุณฤทธิชัย กระสินธุ์ หัวหน้าแผนกวิศวกรรมเทคนิคเป็นผู้ชี้แนะหัวข้อวิทยานิพนธ์ในการปรับปรุง เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ และสนับสนุนข้อมูลทางด้านเทคนิค ผู้วิจัยขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูงที่ได้อบรมชี้แนะวิธีการดำเนินงาน ซึ่งถือเป็นสมมติหนึ่งความสำเร็จในการทำวิจัยครั้งนี้

สำหรับความสำเร็จครั้งนี้นอกจากหัวหน้าแผนกแล้ว ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ซึ่งให้ความกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์เป็นผู้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัย การเก็บข้อมูล การวิเคราะห์การทดลอง และสนับสนุนข้อมูลประกอบงานวิจัย ซึ่งหากไม่มีคำแนะนำ การตรวจสอบ และการชี้แนะจากอาจารย์แล้ว การดำเนินงานวิจัยทั้งหมดนี้คงไม่สามารถสำเร็จอย่างสมบูรณ์อย่างนี้ได้เลย และขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และ รศ.ดร. วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำชี้แนะ และแนวคิดในการปรับปรุงการดำเนินงานวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการปรับปรุงให้มีความถูกต้องมากขึ้น แต่ความผิดพลาด หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในงานวิจัยถือเป็นความรับผิดชอบของผู้วิจัยทั้งหมด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ของผู้วิจัยที่ให้การสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างเต็มที่โดยตลอด เป็นผู้ให้โอกาสผู้วิจัยให้ได้รับการศึกษาที่ตีมาจนถึงทุกวันนี้

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2	6
เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 แนวคิด และทฤษฎี.....	6
2.1.1 การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement).....	6
2.1.2 ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma).....	7
2.1.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	18

2.1.4 การเชื่อมโลหะ	19
2.1.5 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ	27
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3	35
วิธีดำเนินการวิจัย.....	35
3.1 สภาพปัญหาปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา.....	36
3.2 วิธีการดำเนินการ	37
3.2.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase).....	38
3.2.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Measure Phase).....	40
3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase).....	56
3.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase).....	56
3.2.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase).....	56
ผลการดำเนินงานวิจัย.....	57
4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase).....	57
4.1.1 การกำหนดปัจจัยของการทดลอง	58
4.1.2 การออกแบบการทดลอง	61
4.1.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design).....	62
4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase).....	96
4.2.1 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง (Confirmation Experiments).....	96
4.3 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase).....	98
4.3.1 วิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction).....	99
4.3.2 แผนการปฏิบัติงาน (Work Schedule).....	101
การสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	106
5. 1 สรุปผลการวิจัย.....	106

5.1.1 การนิยามปัญหา (Define Phase).....	106
5.1.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Measure Phase).....	106
5.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase).....	108
5.1.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase).....	109
5.1.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase).....	110
5.2 ข้อเสนอแนะ	111
บรรณานุกรม	112
ภาคผนวก.....	114
ภาคผนวก ก.....	115
เอกสารแสดงข้อร้องเรียนของลูกค้า.....	115
ภาคผนวก ก-1 เอกสารใบเคลมในระบบ	116
ภาคผนวก ก-2 เอกสารรายงานด้านเทคนิค	117
ภาคผนวก ข.....	118
เอกสารประกอบการให้คะแนนปัจจัย	118
ภาคผนวก ข-1 แบบฟอร์มการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และผลกระทบ	119
ภาคผนวก ข-2 คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และผลกระทบ	120
ภาคผนวก ค.....	121
ตัวอย่างเอกสารการสอบเทียบเครื่องเชื่อม.....	121
ภาคผนวก ค-1 ตัวอย่างเอกสารการสอบเทียบเครื่องเชื่อม	122
ภาคผนวก ง	125
ตารางการทดลอง.....	125
ภาคผนวก ง-1 ผลการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนกลุ่มพฤติกรรมการณ์เชื่อมต่อ	126
ภาคผนวก ง-2 ผลการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนกลุ่มพฤติกรรมการณ์เชื่อมต่อเร็ว	130
ภาคผนวก จ.....	134

เอกสารวิธีการปฏิบัติงาน.....	134
ภาคผนวก จ-1 เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม.....	135
ภาคผนวก จ-2 เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ	136
ภาคผนวก จ-3 เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการปฏิบัติในการเชื่อม	138
ประวัติผู้เขียน	139



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	ข้อมูลความต้องการตัดแปลงรถบรรทุกของลูกค้า ระหว่างเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2561.....	3
ตารางที่ 2	องค์ประกอบทางเคมีของลวดเชื่อม ER70S-6.....	22
ตารางที่ 3	คุณสมบัติทางกลของลวดเชื่อม ER70S-6.....	23
ตารางที่ 4	เกณฑ์การพิจารณาขอรับข้อบกพร่องของรอยเชื่อม	29
ตารางที่ 5	ขนาดรอยนูนที่ยอมรับตามความกว้างของรอยเชื่อม	31
ตารางที่ 6	รายการงานตัดแปลงของ เดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561.....	36
ตารางที่ 7	ข้อบกพร่องจากงานตัดแปลงรถบรรทุกในช่วงเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2561.....	39
ตารางที่ 8	ค่าใช้จ่ายงานแก้ไขข้อบกพร่องของปี 2561	39
ตารางที่ 9	สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย	41
ตารางที่ 10	เกณฑ์คะแนนประเมินความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล	46
ตารางที่ 11	การลงคะแนนระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล	47
ตารางที่ 12	แนวทางการแก้ไขปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อม	48
ตารางที่ 13	จำนวนชิ้นงานที่ใช้แนะนำในการประเมินผลระบบการวัด.....	50
ตารางที่ 14	ค่าการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานของพนักงานตรวจสอบ 3 คน	52
ตารางที่ 15	ผลการประเมินระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบ	53
ตารางที่ 16	เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบ	53
ตารางที่ 17	ค่าความเที่ยงตรงของค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งค่าเครื่องเชื่อม	54
ตารางที่ 18	มุมหัวเชื่อมสำหรับการเชื่อมต่อฉาก และต่อชน	60
ตารางที่ 19	ระดับปัจจัยที่ใช้ทำการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนของกลุ่มพฤติกรรม การเชื่อมซ้ำ.....	63

ตารางที่ 20 ลำดับการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ของระดับปัจจัยการเชื่อมโลหะในกลุ่มพฤติกรรม การเชื่อมซ้ำ.....	65
ตารางที่ 21 ผลการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับปัจจัย 3 ปัจจัยของกลุ่มพฤติกรรมการ เชื่อมซ้ำ.....	67
ตารางที่ 22 การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อนจากการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์น เคนของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมซ้ำ.....	68
ตารางที่ 23 การกำหนดขอบเขตของผลตอบ โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab.....	78
ตารางที่ 24 ระดับปัจจัยที่ใช้ทำการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนของกลุ่มพฤติกรรม การเชื่อมเร็ว.....	80
ตารางที่ 25 ลำดับการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ของระดับปัจจัยการเชื่อมโลหะในกลุ่มพฤติกรรม การเชื่อมเร็ว.....	81
ตารางที่ 26 ผลการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับปัจจัย 3 ปัจจัยของกลุ่มพฤติกรรมการ เชื่อมเร็ว.....	83
ตารางที่ 27 การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อนจากการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์น เคนของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว.....	84
ตารางที่ 28 การกำหนดขอบเขตของผลตอบ โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab.....	94
ตารางที่ 29 การปรับค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมซ้ำ และกลุ่มพฤติกรรม การเชื่อมเร็ว.....	96
ตารางที่ 30 ค่าปัจจัยที่ใช้ในการทดลองยืนยันผลการทดลองของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมซ้ำ.....	97
ตารางที่ 31 ค่าปัจจัยที่ใช้ในการทดลองยืนยันผลการทดลองของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว.....	97
ตารางที่ 32 ข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานบกพร่องก่อน และหลังการปรับปรุงในกลุ่ม พฤติกรรมการเชื่อมซ้ำ และกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว.....	98
ตารางที่ 33 ขั้นตอนการปฏิบัติงานตรวจสอบวัสดุก่อนการเชื่อมโลหะ.....	99
ตารางที่ 34 ขั้นตอนการปฏิบัติงานตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ.....	100

ตารางที่ 35	ขั้นตอนการปฏิบัติงานกำหนดค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะ	101
ตารางที่ 36	แผนการปฏิบัติงาน เพื่อการปรับปรุงกระบวนการทำงาน	102
ตารางที่ 37	จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุง ในช่วงเดือน กันยายน ปี พ.ศ. 2561	103



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 รถแชสซีมาตรฐาน.....	2
ภาพที่ 2 ข้อบกพร่องงานตัดแปลงรถบรรทุกจากข้อร้องเรียนของลูกค้า ช่วงเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2561.....	4
ภาพที่ 3 ระดับคุณภาพของซิกซ์ ซิกม่า ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) และ DPMO.....	8
ภาพที่ 4 ประเภทความแปรผันของระบบการวัด ในกระบวนการวัดที่เสถียร และกระบวนการวัดที่ไม่เสถียร	12
ภาพที่ 5 องค์ประกอบของระบบการวัด	14
ภาพที่ 6 แบบจำลองการออกแบบการทดลองของกระบวนการ	15
ภาพที่ 7 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน	18
ภาพที่ 8 การเชื่อมโลหะ	20
ภาพที่ 9 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม	21
ภาพที่ 10 ลวดเชื่อมมิก.....	22
ภาพที่ 11 อัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อม	24
ภาพที่ 12 ลักษณะรอยเชื่อม และคุณสมบัติการซึมลึก เมื่อเลือกใช้แก๊สคลุมแต่ละชนิด	24
ภาพที่ 13 ระยะโพล์ของลวดเชื่อม.....	26
ภาพที่ 14 มุมหัวเชื่อม	26
ภาพที่ 15 ระยะการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา	28
ภาพที่ 16 ลักษณะการพิจารณารอยเชื่อม.....	30
ภาพที่ 17 ลักษณะแชสซีเสียหาย	41
ภาพที่ 18 ลักษณะการต่อปลายแชสซี.....	42
ภาพที่ 19 ลักษณะความเสียหายของแชสซีในจุดหยุดเชื่อมไม่เต็มแนว	43

ภาพที่ 20	แผนภาพสาเหตุ และผล แสดงการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าของ ปัญหาข้อบกพร่อง ประเภทแซลซีเสียหาย.....	45
ภาพที่ 21	พารेटโตแสดงการจัดเรียงคะแนนระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล	48
ภาพที่ 22	ลักษณะเฉพาะตัวของลวดเชื่อม	59
ภาพที่ 23	ลักษณะการเกิด Undercut และ Overlap.....	59
ภาพที่ 24	จำนวนการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design).....	64
ภาพที่ 25	Main Effects Plot การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อ ค่า Defect (จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมซ้ำ.....	70
ภาพที่ 26	Interaction Plot การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อ ค่า Defect (จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมซ้ำ.....	71
ภาพที่ 27	Residual Plot ค่า Defect ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมซ้ำ	73
ภาพที่ 28	กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage).....	75
ภาพที่ 29	พื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage).....	75
ภาพที่ 30	กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	76
ภาพที่ 31	พื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	76
ภาพที่ 32	กราฟโครงร่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	77
ภาพที่ 33	พื้นผิวผลตอบระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	78
ภาพที่ 34	ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab	79

ภาพที่ 35 Main Effects Plot การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว.....	86
ภาพที่ 36 Interaction Plot การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อ ค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว.....	87
ภาพที่ 37 Residual Plot ค่า Defect ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว.....	89
ภาพที่ 38 กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage).....	91
ภาพที่ 39 ผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage).....	91
ภาพที่ 40 กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	92
ภาพที่ 41 พื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	92
ภาพที่ 42 กราฟโครงร่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	93
ภาพที่ 43 พื้นผิวผลตอบระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow).....	94
ภาพที่ 44 ค่าปัจจัยที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์โดยฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab.....	95
ภาพที่ 45 ลักษณะแนวรอยเชื่อมไม่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดแนว.....	104
ภาพที่ 46 เกิดสะเก็ดเม็ดโลหะรอบข้างแนวเชื่อม.....	104
ภาพที่ 47 จุดหยุดรอยเชื่อมมีลักษณะแหง.....	104
ภาพที่ 48 แผนภูมิควบคุมคุณภาพสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย.....	105

บทที่ 1

บทนำ

สภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันที่มีการเจริญเติบโตของธุรกิจ และอุตสาหกรรม อย่างต่อเนื่อง กลุ่มธุรกิจขนาดเล็ก ธุรกิจขนาดกลาง จนไปถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีการปรับปรุง พัฒนาสินค้าและบริการ ด้วยการสร้างนวัตกรรมใหม่ๆออกมา เพื่อตอบสนองรูปแบบการใช้งาน ความต้องการของผู้บริโภคที่หลากหลาย เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด

อุตสาหกรรมผู้ผลิตรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ในตลาดปัจจุบันมีการแข่งขันทางการตลาดค่อนข้างสูง เนื่องด้วยผู้ผลิตรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ที่เกิดขึ้นในตลาดค่อนข้างมาก รวมถึงการเข้ามาตีตลาดของผู้ผลิตรถยนต์ เพื่อการพาณิชย์จากต่างประเทศ ดังนั้นด้วยความต้องการของลูกค้า ที่มีความหลากหลายตามประเภทธุรกิจ ทำให้บริษัทมีการคิดค้น และพัฒนาผลิตภัณฑ์ออกมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถตอบโจทย์การใช้งานของลูกค้าได้สูงสุด นอกจากการพัฒนาความสามารถศักยภาพของเครื่องยนต์ ความแข็งแรงของวัสดุอุปกรณ์ ฟังก์ชันการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และอื่นๆ โดยการเปิดตัวผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ๆ ยังมีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งที่สำคัญ คือ งานดัดแปลง (Modification) งานดัดแปลงรถบรรทุก เป็นกระบวนการหนึ่งที่บริษัทใช้ในการเพิ่มความสามารถให้รถบรรทุกสามารถรองรับการใช้งานของลูกค้าได้ตรงตามความต้องการ ซึ่งในปี 2561 ที่ผ่านมามีบริษัทได้รับแจ้งข้อร้องเรียน (Complaints) จากลูกค้าเข้ามาจำนวนมาก เนื่องจากรถบรรทุกที่ทำการดัดแปลงออกไปให้ลูกค้า นั้น พบข้อบกพร่อง และความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ความเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อบริษัทกรณีศึกษาทางค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานที่สูญเสียไป และภาพลักษณ์ของบริษัทสูญเสียไป

คุณภาพของสินค้า จึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งคุณภาพสินค้านั้นจะส่งผลไปถึงการใช้งาน ที่ได้ประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของลูกค้าด้วย กล่าวคือ รถบรรทุกที่ดำเนินการดัดแปลงให้มีคุณภาพดีจะสามารถตอบโจทย์สภาพการใช้งานการบรรทุกสินค้าที่หลากหลาย แต่ในกรณีที่รถบรรทุกดัดแปลงมี คุณภาพต่ำ นอกจากปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานแล้ว สภาพตัวรถที่เกิดการชำรุดเสียหาย จะส่งผลไปถึงความปลอดภัยของผู้ขับขี่ด้วย สิ่งที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลกระทบต่อทางด้านลบในด้านภาพลักษณ์ ชื่อเสียงของบริษัทกรณีศึกษาเป็นอย่างมาก รวมถึงยอดขายรถบรรทุกในอนาคตที่จะลดลงตามลำดับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมีวัตถุประสงค์มุ่งเน้นปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพงานดัดแปลง เพื่อลด ข้อบกพร่อง (Defects) ที่เกิดจากการดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทกรณีศึกษา และลดค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานให้กับบริษัทกรณีศึกษาอีกด้วย

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตรถยนต์เพื่อการพาณิชย์ หรือรถบรรทุกที่ได้รับการยอมรับจากผู้ใช้ทั่วโลก ซึ่งจะผลิต และจำหน่ายรถบรรทุก และอะไหล่ยานยนต์ให้กับลูกค้า โดยรถบรรทุกที่จัดจำหน่ายให้ลูกค้าจะเป็นสภาพรถแชสซีที่จะมีหัวเก๋ง เครื่องยนต์ ระบบขับเคลื่อน โครงเหล็กแชสซี และอุปกรณ์ส่วนควบ ตามลักษณะในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รถแชสซีมาตรฐาน

ในปัจจุบันลูกค้ามีความต้องการที่หลายหลายเพิ่มมากขึ้น ทำให้รถแชสซีขนาดมาตรฐาน ไม่สามารถตอบสนองความต้องการได้ครบถ้วน จึงนำไปสู่การดัดแปลงรถแชสซีให้มีสภาพการใช้งานตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นเพื่อตอบรับการใช้งานของลูกค้าที่มีความหลากหลาย บริษัทกรณีศึกษา จึงมีนโยบายรับดำเนินการดัดแปลงรถแชสซีแบบมาตรฐาน (Standard Model) ตามความต้องการของลูกค้า เพื่อเป็นการเพิ่มช่องทางการขาย และเพิ่มยอดขายรถบรรทุกอีกทางของบริษัทกรณีศึกษา และเป็นการขยายตลาดของผู้ผลิตอีกด้วย

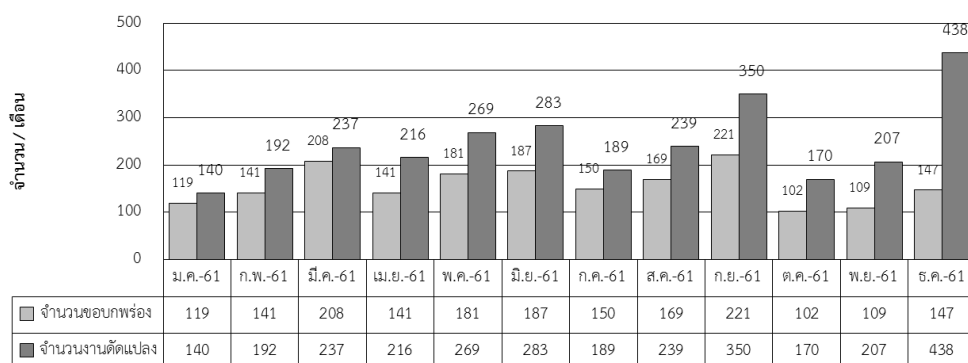
ในปีพ.ศ. 2561 ที่ผ่านมากลุ่มลูกค้าได้แจ้งความต้องการให้บริษัทกรณีศึกษาดำเนินการดัดแปลงรถแชสซีเข้ามาหลายประเภท โดยลูกค้าจะแจ้งความต้องการ (Requirement) เข้ามาผ่านทางฝ่ายขายของบริษัท ซึ่งมีรายการดังแสดงในตารางที่ 1

การดัดแปลงรถแชสซีเป็นการเปลี่ยนแปลงสภาพรถไปจากแชสซีมาตรฐานซึ่งการดัดแปลงนี้จะดำเนินการ โดยผ่านซัพพลายเออร์ของบริษัท (Supplier) จึงทำให้กระบวนการดัดแปลงรถบรรทุกจะมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงาน และในปัจจุบันปัจจัยเหล่านั้นยังไม่มี การควบคุม หรือการตรวจสอบภายในกระบวนการที่ถูกต้อง จึงเป็นจุดเสี่ยงที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่อง

หรือความเสียหายในงานดัดแปลงรถบรรทุกได้ ส่งผลให้คุณภาพงานไม่ได้มาตรฐาน แล้วเกิดเป็นการแจ้งข้อบกพร่องผ่านทางลูกค้ามา ซึ่งจากกราฟแสดงจำนวนข้อบกพร่องจากงานดัดแปลงรถบรรทุกต่อเดือนในปีพ.ศ. 2561 ของบริษัทกรณีศึกษา ดังภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าข้อบกพร่องจากข้อร้องเรียนที่ลูกค้าแจ้งเข้ามาในแต่ละเดือนมีจำนวนค่อนข้างสูง โดยเฉลี่ยมากกว่า 60% ของจำนวนการดัดแปลงทั้งหมดในแต่ละเดือน จากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบริษัทกรณีศึกษาจึงได้กำหนดนโยบายการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงานในส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุก เพื่อเพิ่มคุณภาพของงานดัดแปลงให้สูงขึ้นจนสามารถลดข้อบกพร่องในกระบวนการได้ และสร้างวิธีการทำงานของพนักงาน ให้เป็นมาตรฐาน เพื่อให้พนักงานในกระบวนการสามารถดำเนินงานไปในรูปแบบเดียวกัน จากสภาพการทำงาน และวิธีการของพนักงานในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุกที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องทางผู้วิจัยจึงนำเอาเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการ เพื่อพัฒนาระบบการทำงานของการดัดแปลงรถบรรทุก โดยการลดความแปรปรวน (Variation) ของกระบวนการ และการปรับปรุงความสามารถในการทำงานของพนักงานให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

ตารางที่ 1 ข้อมูลความต้องการดัดแปลงรถบรรทุกของลูกค้า ระหว่างเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2561

ลำดับ	รายการดัดแปลง	จำนวนดัดแปลง (ครั้ง)
1	การดัดแปลงจาก 12 ล้อ เป็น รถหัวลาก	368
2	การดัดแปลงเพิ่มความยาวแชสซี	630
3	การดัดแปลงเปลี่ยนแหนบเป็นถูงลม	459
4	การดัดแปลงย้ายพวงมาลัยซ้าย	161
5	การดัดแปลงรถเพิ่มชุดยกเพลลา	262
6	การติดตั้งระบบ ABS	166
7	การติดตั้งเพิ่มกำลังไดซาร์จ	109
8	การเปลี่ยนจานพวง	164
9	การดัดแปลงท่อไอเสีย	162
10	การติดตั้งแอร์ไฟฟ้า	129
11	การติดตั้งชุดตัดแบตเตอรี่	177
12	อื่นๆ	143
รวมงานดัดแปลง (ครั้ง)		2,930



ภาพที่ 2 ข้อบกพร่องงานดัดแปลงรถบรรทุกจากการแจ้งร้องเรียนของลูกค้า ช่วงเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปีพ.ศ. 2561

จากข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมมาเกี่ยวกับข้อบกพร่องจากการแจ้งร้องเรียนของลูกค้าในส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุก พบว่า มีจำนวนข้อบกพร่องทั้งหมด 1,875 ครั้ง จากการดัดแปลงรถบรรทุกจำนวน 2,930 ครั้ง คิดเป็น 64% ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจำนวนการดัดแปลงรถบรรทุกในปีพ.ศ. 2561

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานดัดแปลง โดยนำเอาเทคนิค ชิکش ชิคม่า มาใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ ตามขั้นตอน DMAIC เพื่อลดจำนวนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากงานดัดแปลงรถบรรทุก เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และการทำงานที่เป็นมาตรฐานของพนักงานที่ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย มีดังนี้

การลดข้อบกพร่องที่มาจาก การแจ้งข้อร้องเรียน ในงานดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัย มีดังนี้

1. การวิจัยจะดำเนินการศึกษา และปรับปรุงคุณภาพกระบวนการดำเนินงานดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทกรณีศึกษา
2. งานดัดแปลงที่ดำเนินการตามความต้องการของลูกค้า
3. งานวิจัยจะศึกษาเฉพาะประเภทรถบรรทุก 4, 6, 10 และ 12 ล้อ

4. งานวิจัยจะศึกษาในส่วนเหล็กแชสซีวัสดุ เหล็กกรีดร้อน เกรด SS400 ความหนา 9 มม.
5. การวิจัยจะทำการวิเคราะห์การปรับค่าของเครื่องเชื่อม ยี่ห้อ Rilon รุ่น MIG 500 IGBT

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย มีดังนี้

1. ศึกษากระบวนการดำเนินงานดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทกรณีศึกษา
2. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ศึกษารายละเอียดขั้นตอน และเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
4. ประยุกต์ใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา หรือปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้พัฒนา และปรับปรุงขั้นตอนดำเนินการในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุก
5. ออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยของการเชื่อม ในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุก
6. ทำการควบคุมค่าปัจจัยการเชื่อมในกระบวนการดัดแปลง และเก็บข้อมูล
7. สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ มีดังนี้

1. ปรับปรุง และพัฒนากระบวนการดำเนินงานในส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้าให้มีประสิทธิภาพ
2. ผลลัพธ์ของผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ สามารถตอบสนองการใช้งานของลูกค้า และบรรลุความพึงพอใจของลูกค้า
3. การยกระดับกระบวนการดำเนินงานของพนักงานให้เป็นมาตรฐาน ถูกต้อง มีคุณภาพ และเป็นที่ยอมรับ
4. แนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการดำเนินงานดัดแปลงรถบรรทุก และสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เพื่อเพิ่มยอดขายจำหน่าย และส่วนแบ่งทางการตลาด
5. ลดค่าใช้จ่ายในงานแก้ไขข้อบกพร่องให้ลูกค้า เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ในการปรับปรุงกระบวนการระบบงานของหน่วยงานอื่นๆ ในบริษัท
6. เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ เทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า ในการปรับปรุงกระบวนการระบบงานของหน่วยงานอื่นๆ ในบริษัท

บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะเป็นส่วนที่กล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทางผู้วิจัยจะนำมาใช้เป็นแนวทาง และขั้นตอนสำหรับการแก้ไขปัญหา และลดข้อบกพร่องในงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อปรับปรุง และพัฒนากระบวนการดำเนินงานดัดแปลงรถบรรทุกให้มีคุณภาพ มีความถูกต้อง มีมาตรฐานในกระบวนการทำงาน และยังเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement) ในงานวิจัยฉบับนี้จะนำเอาเทคนิค ชิกซ์ซิกมา (Six Sigma) มาใช้บริหารจัดการคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ปรับปรุงกระบวนการ เพื่อสร้างมาตรฐานในการทำงานของพนักงานในองค์กร, กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding) ทำการศึกษา และใช้พิจารณา เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของงานเชื่อมโลหะ ในส่วนการดัดแปลงรถบรรทุก และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์หาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางการดำเนินงานวิจัยที่ถูกต้อง และเหมาะสม นำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเพิ่มขึ้น บรรลุตามวัตถุประสงค์ของบริษัท และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้สูงสุด

2.1 แนวคิด และทฤษฎี

2.1.1 การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement)

การปรับปรุง (Improvement) เป็นการยกระดับมาตรฐานเป้าหมาย หรือวัตถุประสงค์ให้มีระดับสูงขึ้น โดยจะเริ่มจากการสำรวจ ตรวจสอบ และประเมินการดำเนินงาน หรือกระบวนการในปัจจุบัน แล้วดำเนินการวางแผนงาน และควบคุมงานใหม่ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ออกมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

คุณภาพ (Quality) คือ คุณลักษณะของสิ่งต่างๆ อาทิ ผลิตภัณฑ์ งานบริการ และกระบวนการดำเนินงาน ที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า (Customer) และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholder) ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจ ซึ่งบริษัทที่มุ่งเน้น “คุณภาพ” จะส่งเสริมวัฒนธรรมองค์กร ให้มีกิจกรรม และกระบวนการต่างๆ สนับสนุนการดำเนินงานในธุรกิจให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่ต้องการ เพื่อให้การส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสามารถสร้างความพึงพอใจ และตอบสนองความต้องการของลูกค้า และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่เกี่ยวข้อง

ดังนั้น การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement) จึงเป็นขั้นตอน หรือกระบวนการดำเนินงานทางธุรกิจ และทำการควบคุมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ งานบริการ และกระบวนการดำเนินงานใหม่ ที่สามารถได้ผลลัพธ์ออกมาตรงตามข้อกำหนด หรือเป้าหมาย ตรงตามความต้องการ และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ซึ่งเปรียบเสมือนการปรับปรุง และพัฒนาระบบการทำงานแบบเดิม และเกิดเป็นระบบใหม่ขึ้นมาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของคุณภาพ โดยมีขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพ ดังนี้

1. การตั้งเป้าหมาย และกำหนดโครงการเพื่อดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ โดยจะมาจาก การสำรวจทางการตลาด ข้อร้องเรียน (Complaint) จากลูกค้า หรือข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ และบริการ
2. การจัดตั้งทีมงานด้านคุณภาพ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement Team) โดยจะกำหนดให้ทีมงานประกอบด้วย พนักงานระดับการจัดการขององค์กร และพนักงานที่เป็นสายบริหารแบบข้ามสายงาน (Cross Function Team)
3. การวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาของระบบ
4. พัฒนา และแก้ไขสาเหตุปัญหาของระบบ
5. ติดตาม และเก็บผล เพื่อดำเนินการประเมินความสามารถ และประสิทธิภาพของวิธีการแก้ไขสาเหตุของปัญหา
6. สร้างระบบ เพื่อใช้ควบคุมการวิธีการแก้ไขของระบบใหม่นี้ให้การดำเนินงานสามารถดำเนินต่อเนื่องไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.2 ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

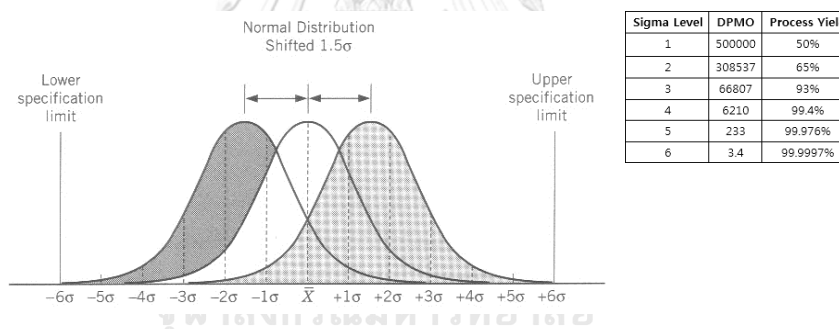
ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เป็นเครื่องมือที่มุ่งเน้นในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ถูกพัฒนาขึ้นในปีพ.ศ. 2533 โดยกลุ่มวิศวกรของบริษัท Motorola ภายใต้การนำของ Dr. Mikel Harry และ Bill Smith (1985-1986) ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มแนวคิด ซิกซ์ ซิกม่า ขึ้นมา เป็นเทคนิค และวิธีการปรับปรุงกระบวนการ แล้วนำมาใช้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์ของบริษัท ทำให้ยอดขาย และอัตราการเติบโตสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการลดข้อบกพร่อง (Defects) ต่อมาบริษัทต่างๆ ในสหรัฐอเมริกา จึงได้นำเอาเทคนิคการบริหารจัดการแบบซิกซ์ ซิกม่า ไปใช้ในองค์กร และประสบความสำเร็จด้วยการลดค่าใช้จ่ายขององค์กรได้อย่างมาก [1]

ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) หมายถึง วิธีการทางสถิติที่เป็นระบบ (Systematic) เพื่อลดความผันแปร (Variation) ในกระบวนการผลิต (Process) และผลิตภัณฑ์ (Product) โดยมุ่งหวังคุณภาพที่เป็นเลิศ เพื่อการลดต้นทุน และเพิ่มผลกำไร โดยต้นทุนที่ซิกซ์ ซิกม่าให้ความสนใจก็คือ ต้นทุนคุณภาพ (Cost of Quality)

ซิกส์ ซิกม่า เป็นแนวความคิดการปรับปรุงกระบวนการ ประสิทธิภาพการทำงานขององค์กร และการจัดการด้านคุณภาพ ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในบริษัทชั้นนำทั่วโลก โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการทำงาน และการปรับปรุงความสามารถในการทำงาน การลดของเสียในกระบวนการให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยการวิเคราะห์ข้อมูล หาข้อบกพร่อง กำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ และการปรับปรุงกระบวนการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดข้อบกพร่อง [2]

แนวคิด ซิกส์ ซิกม่า เป็นวิธีการขององค์กรที่ใช้เป็นเครื่องมือ เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถของกระบวนการทางธุรกิจ การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพ และการลดลงของความแปรผันของกระบวนการนี้ ทำให้เกิดการลดข้อบกพร่อง และการเพิ่มขึ้นของผลกำไร ความตั้งใจของพนักงาน และคุณภาพของสินค้า และบริการคุณภาพ [3]

ซิกส์ ซิกม่า เป็นการบริหารองค์กรด้วยการพัฒนาวิธีการทางสถิติ โดยมีเป้าหมายลดความแปรปรวน (Variation) ของกระบวนการ ซึ่งจะวัดความความแปรปรวนเฉลี่ยที่เบี่ยงเบนค่าไปจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ซิกส์ ซิกม่า จึงเป็นค่าระดับคุณภาพ (Duality Level) ที่ยังมีค่าสูงยิ่งมีคุณภาพที่ดี ดังนั้น ซิกส์ ซิกม่า จึงเป็นกลยุทธ์ที่ทำให้องค์กรมีค่าระดับคุณภาพที่สูงนั่นเอง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระดับคุณภาพของซิกส์ ซิกม่า ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) และ DPMO

การปรับปรุงคุณภาพของสินค้าและบริการ ตามแนวคิด ซิกส์ ซิกม่า จะประกอบด้วยขั้นตอนในลักษณะของ DMAIC ทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การกำหนดปัญหา (Define)
2. การวัดเก็บข้อมูล (Measure)
3. การวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis)
4. การปรับปรุงกระบวนการ (Improve)
5. การติดตาม และควบคุม (Control)

2.1.2.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนการระบุ และคัดเลือกหัวข้อปัญหา เป็นการกำหนดปัญหา และเป้าหมายให้ตรงตามกลยุทธ์บริษัท ตามความต้องการของลูกค้า เพื่อปรับปรุง และพัฒนาสินค้า และบริการให้มีคุณภาพ การระบุหัวข้อปัญหา และขอบเขตจะมีการบันทึกลงในเอกสารรายละเอียดโครงการ (Project Charter) โดยจะระบุ กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์ เป้าหมาย ตัวชี้วัด ขอบเขตที่ต้องการจะปรับปรุง และเวลาดำเนินงานวิจัย โดยเครื่องมือที่นำมาใช้สนับสนุนการกำหนดหัวข้อปัญหาจะมีรายละเอียด ดังนี้

1. การระดมสมอง (Brainstorming) เป็นเทคนิคที่ถูกนำมาใช้ เพื่อในการระดมความคิด เป็นการสร้างความคิดเห็น แนวคิดสร้างสรรค์ใหม่ๆ ที่ทุกคนในสมาชิกสามารถแสดงความคิดเห็นได้อย่างอิสระ เพื่อให้เกิดความคิดที่หลากหลาย ซึ่งถูกนำมาใช้ในการวางแผน เพื่อดำเนินโครงการ ระดมความคิดเพื่อแก้ไขปัญหาของงาน ที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ค้นหาสาเหตุของการเกิดปัญหา เป็นต้น และในปัจจุบันถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพตามแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ด้วยการแสดงความคิดเห็นนี้ทำให้สมาชิกในกลุ่มมีส่วนร่วมภายในกลุ่ม เพื่อหาทางแก้ไข วิธีการปรับปรุงใหม่ๆในการแก้ปัญหา

วิธีการระดมสมองนั้นทำให้ภายในกลุ่มมองเห็นสภาพปัญหาที่หลากหลาย มุมมองที่แตกต่างออกไป ดังนั้นหลังจากการระดมสมองในส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการภายในกลุ่มไปแล้ว จะเกิดหัวข้อปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการอย่างหลากหลาย ทำให้สมาชิกรู้ถึงปัญหาในกระบวนการที่ต้องดำเนินการแก้ไข โดยการจับกลุ่ม หรือแบ่งแยกปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นหมวดหมู่ หรือลักษณะ ซึ่งอาจพิจารณาจะความเสียหาย ความร้ายแรงที่ส่งผลกระทบต่อ เป็นต้น เพื่อให้การสรุปหัวข้อปัญหา สำหรับการแก้ไข สามารถกำหนดหัวข้อปัญหาที่ชัดเจนได้ และถูกต้อง

2. แผนภาพกระบวนการ (Flow Process Chart) แผนภาพแสดงการไหล หรือขั้นตอนการทำงานในกระบวนการ เป็นการสร้างแผนภาพแสดงกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งระบบ โดยให้เห็นภาพรวมของกระบวนการทำงาน และให้เกิดความเข้าใจมากขึ้น แผนภาพจึงเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการสื่อสารกันระหว่างหน่วยงาน หรือระหว่างกระบวนการทำงาน และส่วนงานจัดเก็บเอกสาร นอกจากนั้นการแสดงผลแผนภาพกระบวนการทำงาน การไหลของขั้นตอนจะช่วยให้สามารถชี้แจงรายละเอียดของกระบวนการให้มีความเข้าใจมากขึ้น และมองเห็นจุดที่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ แผนผังกระบวนการสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการกำหนด และวิเคราะห์กระบวนการทำงาน ใช้สร้างภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการสำหรับการวิเคราะห์ เพื่อการอภิปรายหรือการสื่อสาร อีกทั้งสามารถกำหนดมาตรฐานสำหรับกำหนดพื้นที่ หรือขอบเขตการปรับปรุงในกระบวนการ

แผนผังกระบวนการเป็นส่วนที่สำคัญที่ช่วยหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ จึงต้องสร้างภาพแสดงกระบวนการทำงานอย่างละเอียด และชัดเจนในทุกกระบวนการ เพื่อระบุปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการ (Input) และผลลัพธ์จากกระบวนการ (Output) โดยรายละเอียดของกระบวนการที่ระบุไว้นั้น จะทำให้เห็น และทราบสิ่งผิดปกติ หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ทุกๆ ขั้นตอน ซึ่งมีผลให้สินค้า และบริการไม่มีคุณภาพ

3. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) แผนภูมิพาเรโต เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงข้อมูลจากการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้น โดยนำเอาข้อมูลที่รวบรวมมา ดำเนินการแบ่งแยกเป็นหมวดหมู่ตามประเภทของปัญหา และจัดเรียงอันดับของข้อมูลตามความสำคัญ หรือความถี่ของข้อมูล ที่มีมากที่สุด ไปจนถึงต่ำสุด เพื่อใช้พิจารณาเลือก หรือกำหนดปัญหาที่จะดำเนินการแก้ไข โดยหลักการของแผนภูมิพาเรโต สำหรับการปรับปรุงคุณภาพ คือ การหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพ (Quality Function) ที่มีค่ามากที่สุด ตามอัตราส่วน 80 : 20 เพื่อกำหนดเป็นหัวข้อปัญหาที่ต้องดำเนินการแก้ไข ดังนั้นจะสามารถลดปัญหา หรือข้อบกพร่องในกระบวนการทำงานได้เป็นจำนวนมาก และความเสียหายของบริษัทที่เกิดขึ้นน้อยลง

การจัดทำแผนภูมิพาเรโตสามารถทำได้ โดยการนำเอาข้อมูลปัญหามาตัดแยกประเภท หรือแจกแจงให้เป็นกลุ่ม แล้วจัดเรียงค่าของข้อมูลตามลำดับจากมากไปหาน้อย จากนั้นใช้ความสูงของกราฟแสดงความมาก-น้อยของค่าของข้อมูล และใช้กราฟเส้นแสดงค่าสะสม ดังนั้นนอกจากประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโตที่สามารถแสดง และบ่งชี้ความสำคัญของปัญหา ยังใช้แสดงขนาด และลำดับของปัญหาตามความสำคัญ อีกด้วย [4]

4. สัญญาโครงการดำเนินงานวิจัย (Project Charter) เป็นเอกสารที่ใช้แสดงการเกิดขึ้นของโครงการอย่างเป็นทางการ โดยเอกสารจะระบุหัวข้อ วัตถุประสงค์ของการดำเนินโครงการ เป้าหมาย ระยะเวลา การบริหารโครงการ รวมถึงบทบาท และความรับผิดชอบของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการ (Stakeholders) ซึ่งสัญญาโครงการนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้ช่วยในด้านการบริหารความเสี่ยงของงาน นอกจากนี้ สัญญาโครงการยังเป็นเอกสารที่แสดงภาพรวมของโครงการอย่างสั้นๆ เพื่อให้นำเสนอขอความเห็นชอบในการดำเนินโครงการ โดยเอกสารสัญญาโครงการดำเนินงานวิจัย จะมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพ ดังต่อไปนี้

(1) เหตุผลทางธุรกิจ (Business Case) เป็นการกล่าวถึงเหตุผลที่บริษัทจำเป็นต้องทำโครงการนี้ขึ้นมา หรือกล่าวถึงที่มา และความสำคัญของโครงการ เพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการ

(2) การบรรยายปัญหา (Problem Statement) จะอธิบายรายละเอียดของปัญหา หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน โดยจะมีการระบุประเภทของข้อบกพร่อง

จำนวนความถี่ ลักษณะที่เกิด รวมถึงจุดที่เกิดปัญหานี้ด้วย ซึ่งหลังจากที่ดำเนินการแก้ไขปัญหาลงแล้วนี้ ต้องสามารถวัดผลได้

(3) เป้าหมาย (Goal Statement) เป็นเป้าหมายของความสามารถ กระบวนการทำงานที่กำหนดไว้ หลังจากดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ

(4) ขอบเขตโครงการ (Project Scope) กล่าวถึงพื้นที่ หรือขอบเขตงาน และ กิจกรรม ที่ต้องดำเนินการในกระบวนการ หรือขั้นตอนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับสินค้า หรือบริการที่ โครงการสนใจ ซึ่งในการบริหารโครงการจำเป็นต้องระบุขอบเขตงานให้ชัดเจน

(5) ตัวชี้วัดโครงการ (Project Metrics) เป็นตัวชี้วัดที่ถูกกำหนดมา เพื่อ ประเมินโครงการ ถึงความสามารถของกระบวนการทำงาน หลังจากการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพของ สินค้า และบริการ ซึ่งจะเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงลักษณะของคุณภาพงานที่ผลิตออกมาจาก กระบวนการ

(6) ระยะเวลาของโครงการ (Project Timeline) เป็นการกำหนดระยะเวลา สำหรับการดำเนินงานของโครงการในแต่ละขั้นตอน โดยจะระบุเป็นเวลาเริ่มต้น และเวลาสิ้นสุด

(7) สมาชิกทีม (Team Members) ระบุผู้เกี่ยวข้อง และส่วนงานรับผิดชอบใน โครงการ เพื่อกำหนดผู้รับผิดชอบให้ชัดเจน สำหรับการปรับปรุงคุณภาพ และการดำเนินแก้ไขปัญหา

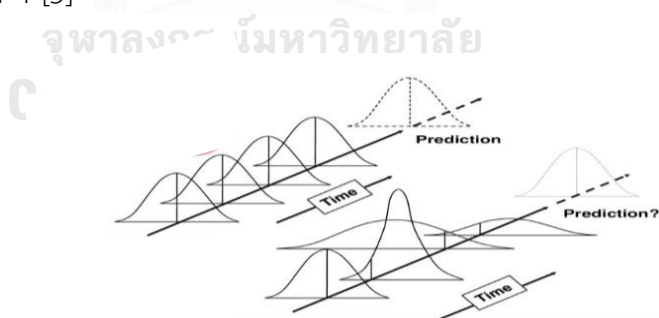
สัญญาโครงการนี้จะมีบทบาทในการรวบรวม และสรุปเนื้อหา เพื่อให้เกิดความ เข้าใจได้ง่าย และมีความกระชับของเนื้อหา เพื่อการเสนอขอความเห็นชอบ เป็นเอกสารที่อธิบายถึง วิธีการจัดการกับปัญหา หรือข้อบกพร่อง หรือวิธีแก้ไขปัญหา

2.1.2.2 ขั้นตอนการวัดเก็บข้อมูล (Measure Phase)

การวัดค่ากระบวนการ โดยค่าที่ได้จากการวัดกระบวนการจะสามารถบ่งบอกถึง ความสามารถของกระบวนการในบริษัท ซึ่งการวัดค่า (Measure) ของปัญหา หรือข้อบกพร่องที่ เกิดขึ้น โดยการตรวจสอบ และการเก็บข้อมูลปัญหาจากสภาพปัญหาในปัจจุบัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ หาสาเหตุของการเกิดปัญหานั้นๆ ซึ่งค่าของกระบวนการที่เก็บข้อมูลมานั้นต้องมีการตรวจสอบความ ถูกต้อง และความแม่นยำของค่าที่วัดได้ เนื่องจากหากพบว่าค่าที่ตรวจสอบ และเก็บข้อมูลมากเกิด ความผิดปกติ ไม่ว่าจะเกิดจากความผิดพลาดของพนักงาน วัสดุ หรือความผิดพลาดจากเครื่องจักร ทางผู้เกี่ยวข้องต้องแก้ไข และปรับปรุงในอยู่ในสภาพพร้อมทำงานก่อนที่จะเก็บค่าใหม่ แต่ในกรณีที่ ค่าที่วัดได้มีความเที่ยงตรงก็จะส่งผลที่ดีต่อกระบวนการ และคุณภาพสินค้า เช่นกัน ซึ่งทำให้เรา สามารถเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองก่อน และหลังการปรับปรุงได้ ในขั้นตอนนี้จะแบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วน คือการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา และการวิเคราะห์ระบบการวัด เครื่องมือ ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล คือ แผนผังสาเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram)

1. การวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องแผนผังสาเหตุ และผล เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างปัญหา (Problem) และ สาเหตุ (Cause) แสดงสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด ที่ส่งผลให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้นในกระบวนการ ซึ่งเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้กัน คือ หนึ่งในเจ็ดเครื่องมือพื้นฐานของคุณภาพ รู้จักกันในชื่อ คือ แผนผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนผังอิชิคาวะ (Ishikawa Diagram) ในแผนผังก้างปลาจะแยกการพิจารณาโดยให้หลักการ 5M 1E กล่าวคือแยกเป็นปัจจัย ดังนี้ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) การวัด (Measurement) และ สิ่งแวดล้อม (Environment) โดยสาเหตุหนึ่งของแผนผังสาเหตุ และผล ที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เนื่องจากแผนภาพที่สมบูรณ์แบบจะกลายเป็นโครงกระดูกของปลาที่มีหัวปลา คือ ผลของปัญหาที่เกิดขึ้น (Effect) อยู่ทางขวาของแผนผัง และกระดูก คือ สาเหตุของปัญหา (Cause) จะแยกออกจากด้านหลังไปทางซ้ายของแผนผังเช่นกัน

2. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Gage R&R) ระบบการวัด เป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคุมกระบวนการ และการตรวจสอบคุณภาพ โดยระบบการวัดจะมียุทธศาสตร์ประกอบที่มีความไม่เท่ากันเสมอ จึงเป็นผลให้เกิดความแปรผันในระบบการวัดเสมอ ความแปรผันที่เกิดขึ้นอาจทำให้กระบวนการไม่อยู่ในการควบคุม หรือทำให้กระบวนการไม่มีความสามารถได้ โดยความแปรผันของระบบการวัดสามารถเกิดจากสาเหตุธรรมชาติ (Chance cause or common of variation) ค่าความแปรผันจะอยู่ในลักษณะมีความเสถียร และสามารถคาดการณ์ได้ และสาเหตุที่ไม่ใช่ธรรมชาติ (Assignable cause or special cause of variation) ซึ่งค่าความแปรผันจะไม่มีเสถียร และไม่สามารถคาดการณ์ได้ ดังภาพที่ 4 [5]



ภาพที่ 4 ประเภทความแปรผันของระบบการวัด ในกระบวนการวัดที่เสถียร และกระบวนการวัดที่ไม่เสถียร

องค์ประกอบความแปรผันของระบบการวัด ถูกแสดงในภาพที่ 5 ความแปรผันต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการตรวจวัด ซึ่งสามารถเกิดได้จากอุปกรณ์การวัด ทักษะผู้วัด วิธีการวัด และสภาพแวดล้อม โดยความแปรผันนั้นสามารถจำแนกความแปรผันของข้อมูลออกได้ 2 ประเภท

คือ ความแปรผันของตำแหน่ง (Location Variation) และความแปรผันของความกว้าง (Width Variation) [6] โดยความแปรผันของตำแหน่ง ประกอบด้วย 3 คุณสมบัติ ได้แก่

(1) ความเอนเอียง หรือไบแอส (Bias) คือ การเข้าใกล้ค่าเฉลี่ยจากการวัดหลาย ๆ ครั้ง เมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 2.1

$$\%Bias = \frac{Bias}{(USL - LSL)} \times 100\% \quad (2.1)$$

(2) เชิงเส้นตรง (Linearity) คือ ความแตกต่างของค่าไบแอสตลอดช่วงการใช้งานของอุปกรณ์การวัด สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ 2.2

$$\%Linearity = \frac{Linearity\ Index}{(USL - LSL)} \times 100\% \quad (2.2)$$

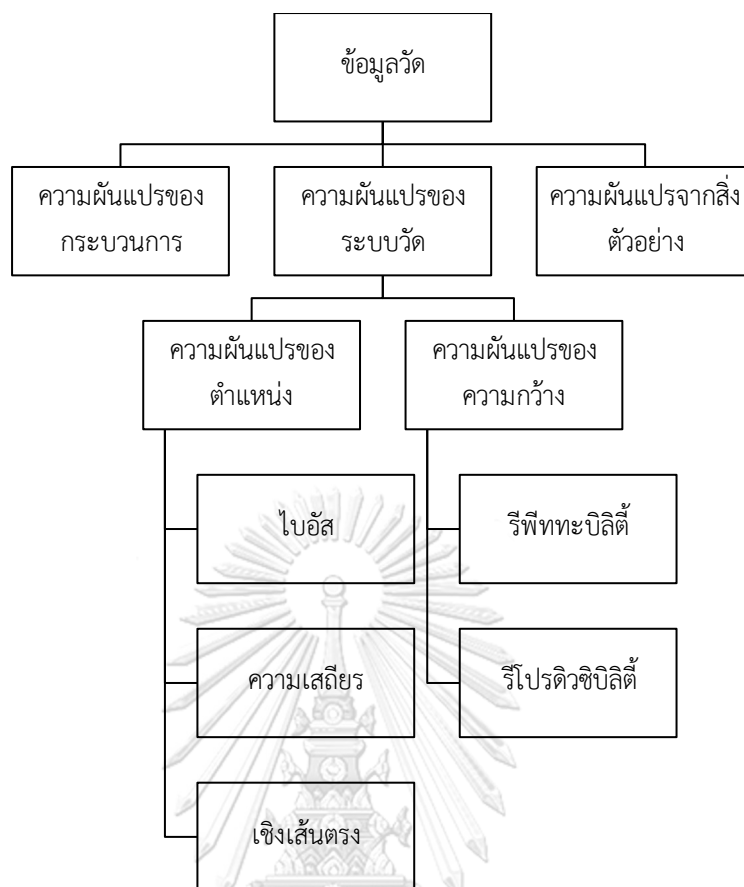
(3) ความเสถียร (Stability) คือ ความแปรผันทั้งหมดในการวัดที่ได้จากระบบการวัดหนึ่ง โดยอาศัยชิ้นงาน หรือค่าอ้างอิง (Reference Value) เดียวกันในการวัดคุณลักษณะประการหนึ่งตลอดช่วงเวลาที่ยาวนานขึ้น สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.3

$$\%Stability = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{(USL - LSL)} \times 100\% \quad (2.3)$$

ความผันแปรของความกว้าง (Width Variation) หรือ ความเที่ยงตรง (Precision) ของระบบการวัด คือ ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่าง ความไว และความสามารถในการทำซ้ำ ตลอดช่วงการใช้งานของระบบการวัด โดยจำแนกออกเป็น

(1) ความแปรผันภายใน หรือรีพีทาทะบิลิตี (Repeatability) คือ ความแปรผันของระบบการวัด โดยใช้ผู้วัดคนเดียว และอุปกรณ์วัดเครื่องเดียว ในการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน หรือที่เรียกว่า ความแปรผันของอุปกรณ์ (Equipment Variation)

(2) ความผันแปรระหว่างเงื่อนไข หรือรีโพรดิวซิบิลิตี (Reproducibility) คือ ความแปรผันที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากอุปกรณ์เครื่องเดียวกัน และวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกันซ้ำๆ ด้วยเงื่อนไขระหว่างผู้วัด (Appraiser Variation)



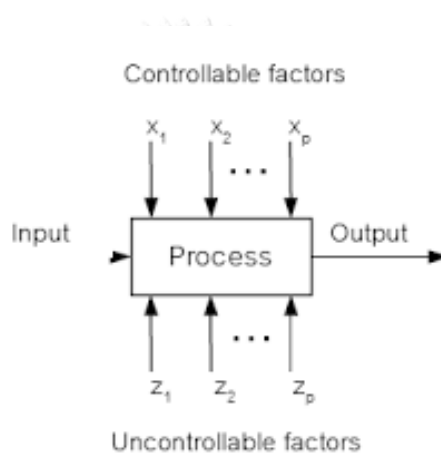
ภาพที่ 5 องค์ประกอบของระบบการวัด

2.1.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา (Analysis Phase)

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหา เป็นขั้นตอนที่จะระบุแหล่งของความแปรปรวน ตรวจสอบปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ให้ไม่เป็นไปตามที่กำหนด การวิเคราะห์ข้อมูล จะทำการศึกษา และทำความเข้าใจ โดยอาศัยหลักการทางสถิติ วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อหาสาเหตุ หรือตัวแปรใดที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการมากที่สุด และหาสาเหตุของความแปรปรวนของกระบวนการ

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยให้การเก็บข้อมูลทางสถิติ ทำการออกแบบการทดลองในกระบวนการที่จะดำเนินการปรับปรุง โดยการทดลองจะต้องครอบคลุม ค่าการควบคุมต่างๆ เพื่อให้ผลการทดลองที่ได้มีผลกระทบร่วมกันอย่างครบถ้วน ซึ่งการออกแบบการทดลองเป็นวิธีเชิงวิทยาศาสตร์ ใช้เทคนิคทางสถิติในการปรับแต่งค่าระดับปัจจัยของกระบวนการให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

การออกแบบการทดลอง จะทำการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรนำเข้าของกระบวนการ เพื่อจะสังเกต และหาสาเหตุที่ทำให้ผลลัพธ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในกระบวนการนั้น ซึ่งตัวแปรนำเข้าสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Factor) คือ ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าต่างๆ ได้ในกระบวนการ และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) เป็นตัวแปรที่เกิดจากคุณภาพของเครื่องมือ ความชำนาญของพนักงาน หรือสภาพแวดล้อม ซึ่งมีผลต่อกระบวนการ ปัจจัยนี้ผู้ทำการทดลองจะพยายามกำจัดตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ออกไป เพื่อลดความแปรปรวนของผลลัพธ์ของกระบวนการ ให้สามารถควบคุมได้กระบวนการ และการทดลองสามารถแสดงเป็นแบบจำลองได้ ดังภาพที่ 6 [7]



ภาพที่ 6 แบบจำลองการออกแบบการทดลองของกระบวนการ

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. การกำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement) ต้องกำหนดให้ชัดเจน โดยตรวจสอบว่าปัญหาคืออะไร
2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) ต้องเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างแท้จริง
3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) ตัวแปรนี้ต้องสามารถวัดได้จากเครื่องมือ หรือกระบวนการวัดอื่นๆ
4. การเลือกแบบการทดลอง (Experiment Design) รูปแบบการทดลองจะขึ้นกับรายละเอียดของปัจจัย เช่น ผลกระทบหลัก (Main Effect) ผลกระทบร่วม (Interaction) เป็นต้น
5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ดำเนินการไปตามแผนการทดลอง ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และการเก็บผล

การทดลอง โดยมีหลักการพื้นฐาน 3 หลักการ คือ การทดลองสุ่ม (Randomization) การทดลองซ้ำ (Replication) และการบล็อก (Blocking)

6. การวิเคราะห์ (Data Analysis) หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าเฉลี่ย และผลกระทบร่วมของปัจจัย ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เช่น Minitab เป็นต้น

7. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

2.1.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการวางแผนวิธีการสำหรับแก้ไขปัญห และปรับปรุงกระบวนการในระบบ มีการกำหนดแผนการปรับปรุงที่ชัดเจน การปรับปรุงอาจเป็นการปรับปรุงกระบวนการขึ้นใหม่ ลดขั้นตอนที่ไม่จำเป็น หรือจำกัดสาเหตุของตัวแปรที่แท้จริงออกไป เพื่อเพิ่มค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานให้มีค่าสูงขึ้นในระดับที่ยอมรับได้

หลังจากที่ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจนสามารถทราบสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาแล้ว จากขั้นตอนการวิเคราะห์ โดยในขั้นตอนนี้จะนำเอาค่าระดับปัจจัยที่ได้จากการทดลองมากำหนดใช้ปรับปรุงในกระบวนการจริง และวิธีการทำงานของพนักงาน โดยทำการเก็บค่าข้อมูลทำการปรับปรุง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในปัจจุบัน เพื่อเป็นการยืนยันวิธีการ หรือค่าระดับปัจจัยที่นำมาปรับปรุงว่าได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ อย่างไร เป็นการยืนยันข้อเท็จจริงที่ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ เมื่อผลการปรับปรุงได้ตามเป้าหมายที่กำหนด วิธีการนั้นจะถูกใช้ในกระบวนการต่อไป และจะมีการขยายผลในกระบวนการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และสอดคล้องกัน ซึ่งการนำเอาวิธีการแก้ไขใหม่มาใช้นั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบ ติดตาม และเก็บข้อมูลคุณภาพอย่างต่อเนื่อง เพื่อตรวจสอบผลลัพธ์ของกระบวนการ ซึ่งอาจมีปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อคุณภาพที่ยังไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการในระยะการทดสอบวิธีการ

2.1.2.5 ขั้นตอนการติดตาม และควบคุม (Control Phase)

การควบคุม และป้องกัน เป็นการพยายามที่จะควบคุม รักษาระดับสมรรถนะความสามารถของกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงให้คงอยู่ในระดับของผลลัพธ์ (Output) ที่พอใจตลอดกระบวนการ และไม่ให้เกิดปัญหา หรือข้อบกพร่องขึ้นมาได้อีก ซึ่งในขั้นตอนนี้ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อช่วยในการกำหนดมาตรการออกมา เพื่อใช้เป็นตัวควบคุมตัวแปรให้อยู่ในช่วงระดับมาตรฐานใหม่ ของการทำงานที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว ในขั้นตอนของการปรับปรุงจะมั่นใจว่า ความสำเร็จต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการปรับปรุงจากกระบวนการจริง [8] เมื่อวิธีการปรับปรุงสามารถแก้ไข ปัญหาโครงการเดิมได้แล้ว จึงจะขยายผล เพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหในโครงการอื่นๆต่อไป โดยจัด

แนวทางการปฏิบัติที่สนับสนุนการปรับปรุง ตรวจสอบ ติดตาม และควบคุม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเกิดความผิดพลาดซ้ำขึ้นมาอีก และเป็นการรักษาระดับคุณภาพของงานอีกด้วย เครื่องมือที่ใช้ในการติดตาม และควบคุม มีดังนี้

1. เอกสารแสดงวิธีการทำงาน (Work Instruction หรือ WI) WI จัดเป็นเครื่องมือที่ถูกจัดทำในรูปแบบเอกสารที่แสดงการทำงาน คำแนะนำ และข้อมูลเฉพาะของแต่ละกระบวนการ เพื่อช่วยสร้างความเข้าใจในกระบวนการปฏิบัติงาน และขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งจะประกอบด้วย

(1) วิธีการ)Methodการอธิบายการทำงานอย่างละเอียดตามกระบวนการงานย่อยใน (ขั้นตอนปฏิบัติงาน

(2) ระยะเวลาที่ดำเนินการ)Periodและเวลาสิ้นสุดของ การระบุเวลาเริ่มต้น (ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

(3) ผู้ติดต่อ)Connectionที่มีความเกี่ยวข้องใน กลุ่มบุคคล บุคคล พนักงาน (กระบวนการปฏิบัติงาน

(4) ข้อมูลที่บันทึก)Recordข้อมูลการปฏิบัติ (งานที่จะต้องบันทึก เพื่อตรวจสอบ และติดตามผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการ

2. เอกสารตรวจสอบงาน (Check Sheet) เป็นเอกสารแบบบันทึก สำหรับการทำการบันทึกข้อมูลที่สนใจ ซึ่งได้รับการออกแบบ เพื่อให้สามารถตีความหมายผลของการบันทึกทันทีที่กรอกเอกสารเสร็จสิ้นวิธีการใช้ มีแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

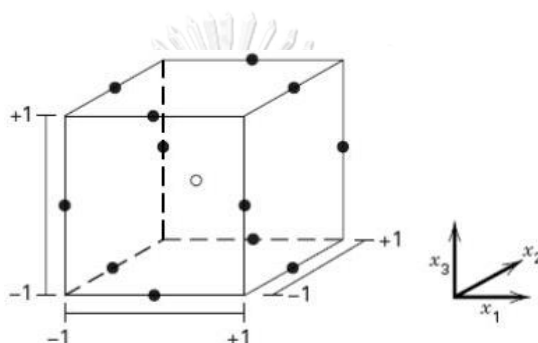
(1) ใช้บันทึกข้อมูล เช่น ใบรายงานผลการปฏิบัติงานประจำวัน (Daily Report) ใบบันทึกรายงานของเครื่องจักร (Machine Report) ข้อมูลส่วนใหญ่ที่บันทึกจะเป็นสิ่งที่พบ ณ ขณะที่ตรวจสอบ เช่น ระดับน้ำมันในเครื่องจักร ความเร็วของสายพาน 50 rpm. อุณหภูมิเตาอบ 90 องศาเซลเซียส เป็นต้น

(2) ใช้ตรวจสอบ โดยเราจะจัดทำเป็นตารางตามที่เรากำหนดหัวข้อ สำหรับตรวจสอบ เช่น ใบรายงานผลการตรวจสอบลักษณะสินค้า ใบรายงานการตรวจสอบสีของพลาสติก เป็นต้น

2.1.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

2.1.3.1 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Experiment of Box-Behnken Design)

การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จะออกแบบการทดลองที่ระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low) แทนด้วย -1 ระดับกลาง (Middle) แทนด้วย 0 และระดับสูง (High) แทนด้วย +1 ในการหาค่าพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface) การออกแบบนี้จะถูกสร้างจากการออกแบบแฟคทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ การออกแบบดังกล่าวทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของการทดลอง โดยใช้จำนวนการทดลองที่น้อยลง ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน

2.1.3.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าปัจจัย กับค่าตอบสนอง เพื่อทำนายค่าตัวแปรตาม ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการวางแผน และปรับปรุงกระบวนการผลิต และกำหนดค่าระดับปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าตอบสนอง หรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยการออกแบบค่าปัจจัยในรูปแบบของสมการจะแทนด้วยสัญลักษณ์ X และ ค่าตอบสนองจะแทนด้วยสัญลักษณ์ Y ดังสมการที่ 2.4

$$Y = F(X) \quad (2.4)$$

การวิเคราะห์การถดถอยนั้นสามารถใช้ได้กับประเภทต่างๆ ของลักษณะความสัมพันธ์ และจำนวนตัวแปร ได้แก่

1. Simple Linear Regression Analysis เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปร และความสัมพันธ์นั้นเป็นลักษณะเชิงเส้น ดังสมการที่ 2.5

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2.5)$$

2. Multiple Linear Regression Analysis จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่มีตัวแปรมากกว่า 1 ตัวแปรขึ้นไป และความสัมพัทธ์นั้นยังเป็นลักษณะเชิงเส้น ดังสมการที่ 2.6

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon \quad (2.6)$$

3. Polynomial Regression Analysis เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นลักษณะเชิงเส้นตรง ดังสมการที่ 2.7

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1^2 + \varepsilon \quad (2.7)$$

4. Logistic Regression Analysis เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในกรณีที่มีค่าตอบสนอง Y มีค่าข้อมูลเชิงคุณภาพสองแบบ ได้แก่ ดี หรือเสีย ผ่าน หรือไม่ผ่าน เป็นต้น ส่วนตัวแปร X ยังเป็นค่าต่อเนื่องปกติ

ซึ่งการวิเคราะห์การถดถอยมีรูปแบบ และลักษณะการวิเคราะห์ที่หลากหลาย ขึ้นกับรูปแบบ หรือลักษณะของความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร และค่าตอบสนอง

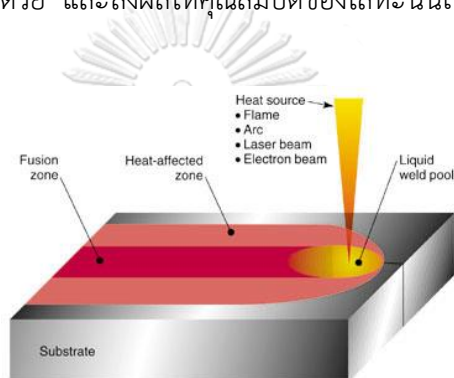
การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2 : R-Square) เป็นการวิเคราะห์ลักษณะการออกแบบการทดลองที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมกับข้อมูลมากน้อยเพียงใด ซึ่งในการทดลองจะมีความแปรปรวนเกิดขึ้นทุกครั้ง ค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนั้นจะมีทั้งค่าที่สามารถอธิบายได้ และค่าที่อธิบายไม่ได้ ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจะต้องทำให้เกิดค่าความแปรปรวนที่อธิบายไม่ได้ให้น้อยที่สุด ค่า R^2 จะเป็นค่าที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าตอบสนอง เมื่อค่า R^2 มีค่ามากการทดลองยิ่งมีความเหมาะสมของข้อมูลมาก ดังสมการที่ 2.8

$$\text{ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ } (R^2) = \frac{\text{ค่าความแปรผันที่อธิบายได้}}{\text{ค่าความแปรผันทั้งหมด}} \times 100\% \quad (2.8)$$

2.1.4 การเชื่อมโลหะ

การเชื่อมโลหะคือ การต่อชิ้นโลหะมากกว่า 2 ชิ้นเข้าด้วยกันโดยใช้ความร้อนในการหลอมละลายชิ้นงานให้รอยต่อระหว่างโลหะหลอมละลายเข้าด้วยกัน บางครั้งอาจเติมเนื้อโลหะผสมลงไป

หรือที่เรียกว่า ลวดเชื่อม (Filler Metal) เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการในแนวเชื่อมให้ดีขึ้น โดยความร้อนจากแหล่งความร้อน (Heat Source) จะถูกส่งผ่านไปที่บริเวณรอยต่อระหว่างโลหะสองแผ่น (Base Metals) ทำให้เกิดการหลอมละลายรวมกันที่บริเวณบ่อหลอมละลาย (Weld - Pool) และเมื่อเคลื่อนที่แหล่งให้ความร้อนไปตามรอยต่อ จะทำให้เกิดแนวเชื่อมขึ้น ดังภาพที่ 8 บริเวณที่หลอมละลาย (Fusion Zone) นี้ เมื่อเย็นตัวลงจะเกิดการแข็งตัวเป็นแนวเชื่อม ซึ่งจะมีโครงสร้างแตกต่างไปจากโลหะหลัก (Base Metal) ในการเชื่อมโลหะพื้นที่ที่สำคัญอีกพื้นที่หนึ่ง คือ พื้นที่ที่ได้รับอิทธิพลจากความร้อน (Heat Affected Zone) เป็นพื้นที่ที่อยู่ถัดออกไปจากพื้นที่การหลอมละลาย พื้นที่นี้ไม่มีการหลอมละลาย แต่ได้รับความร้อนที่เกิดจากพื้นที่หลอมละลายทำให้โครงสร้างในบริเวณพื้นที่นี้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย และส่งผลให้คุณสมบัติของโลหะนั้นเปลี่ยนแปลงไป [9]



ภาพที่ 8 การเชื่อมโลหะ

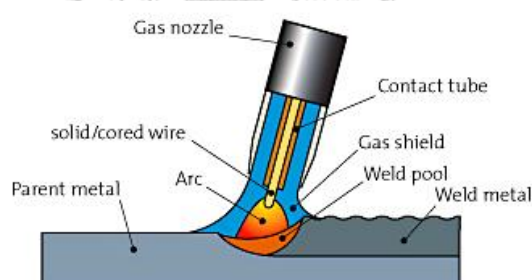
การเชื่อมโลหะ (Welding) มีกรรมวิธีที่เป็นที่รู้จัก และใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเชื่อมในสภาวะของแข็ง (Solid State Welding) เป็นการเชื่อมในลักษณะของโลหะหนักที่จะไม่เกิดการหลอมละลายของเนื้อโลหะเชื่อมติดกัน แต่จะอาศัยแรงทางกลทำให้เกิดความร้อนทำให้โลหะเชื่อมประสานกัน ซึ่งประกอบไปด้วย การเชื่อมด้วยการแพร่, การเชื่อมด้วยความต้านทาน, การเชื่อมด้วยอัลตราโซนิก, การเชื่อมด้วยความเสียดทานแบบกวน และการเชื่อมด้วยความเสียดทานแบบจุด ประเภทที่สอง คือ การเชื่อมแบบหลอมละลาย (Fusion Welding) การเชื่อมประเภทนี้จะใช้ความร้อนจากการอาร์คมาหลอมละลายโลหะบริเวณรอยต่อทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกันเป็นแนวเชื่อมประสาน การเชื่อมแบบหลอมละลายมีหลายกรรมวิธี ได้แก่ การเชื่อมอาร์คไฟฟ้า, การเชื่อมมิก/แม็ก, การเชื่อมทิก, การเชื่อมใต้ฟลักซ์, การเชื่อมความต้านทาน, การเชื่อมแก๊ส, การเชื่อมด้วยลำอิเล็กตรอน และการเชื่อมด้วยเลเซอร์

ในงานวิจัยฉบับนี้ในส่วนงานเชื่อมโลหะ ในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุกของบริษัท วิทยาลัยศึกษาจะทำการพิจารณา และศึกษาเครื่องเชื่อม ยี่ห้อ Rilon รุ่น MIG 500 IGBT ซึ่งเป็นการ

เชื่อมประเภทหลอมละลาย คือ การเชื่อมมิก/แม็ก ดังนั้นในการวิจัยจะกล่าวถึง การเชื่อมมิก/แม็ก เท่านั้น

2.1.4.1 การเชื่อมมิก/แม็ก

การเชื่อมมิก/แม็ก (MIG/MAG) หรือกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (Gas Metal Arc Welding : GMAW) เป็นกระบวนการเชื่อมโดยใช้ลวดเชื่อมขนาดเล็กจากม้วนลวด ซึ่งจะถูกป้อนผ่านหัวเชื่อม (Torch or Welding Gun) ออกมาอย่างต่อเนื่องผ่านท่อนำกระแสเชื่อม (Contact Tip) ลวดเชื่อมที่สัมผัสกับผิวท่อนำกระแสจะทำให้กระแสเชื่อมไหลเข้าสู่ลวดเชื่อม เมื่อปลายลวดเชื่อมแตะกับผิวชิ้นงานโลหะ จะเกิดการอาร์คขึ้น โดยความร้อนจากการอาร์คจะหลอมละลายผิวชิ้นงานให้เชื่อมประสานกัน และปลายลวดเชื่อมจะหลอมละลายหยดเติมเนื้อโลหะเข้าไปในรอยเชื่อม ในขณะเดียวกันแก๊สจากท่อบรรจุจะไหลมาตามท่อจ่ายสู่หัวฉีด (Nozzle) พุ่งออกมาสู่บ่อหลอมละลาย เพื่อทำหน้าที่เป็นม่านป้องกันไม่ให้ออกซิเจน หรือแก๊สอื่นในบรรยากาศเข้าไปทำปฏิกิริยากับเปลวอาร์ค และโลหะที่กำลังหลอมละลาย การอาร์คจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเชื่อม เนื่องจากลวดเชื่อมที่ใช้แบบม้วนลวดจะป้อนลวดเชื่อมอัตโนมัติ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม

หลักการอาร์คในกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม ความร้อนที่หลอมละลายลวดเชื่อม และชิ้นงานจะเกิดขึ้น เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านกลุ่มอะตอมของแก๊สที่มีประจุไฟฟ้า (Ionized Gas) โมเลกุล และอะตอมของแก๊สจะแตกตัวออกทำให้มีสภาพไม่เป็นกลาง (Ionized) เพราะสูญเสียอิเล็กตรอนไปจากประจุไฟฟ้าบวก (Positive Charge) อีออนแก๊สที่เป็นบวก จะไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ ส่วนอิเล็กตรอนจะไหลจากขั้วลบไปขั้วบวก ปริมาณของความร้อนประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ จะถูกส่งผ่าน โดยอิเล็กตรอน และผ่านอีออนบวก (Positive Ions) โดยความร้อนจากการอาร์คจะหลอมละลายชิ้นงาน และลวดเชื่อม ปลายลวดเชื่อมที่หลอมเหลวจะถูกถ่ายโอน (Transfer)

ผ่านการอาร์คเข้าบ่อหลอมละลาย และลวดเชื่อมจะถูกปกคลุมด้วยแก๊สที่ไหลผ่านออกมาจากหัวฉีด ปริมาณความร้อนที่ได้จากการอาร์คของกระบวนการเชื่อมนี้ จะสูงกว่ากระบวนการอาร์คด้วยวิธีอื่น

2.1.4.2 ลวดเชื่อมมิก

ลวดเชื่อมมิก หรือ ลวดเชื่อมซีไอทู เป็นลวดเชื่อมเปลือย สำหรับงานเชื่อมที่ต้องการความต่อเนื่อง โดยมีแก๊ส CO₂ หรือแก๊ส CO₂ ผสมกับแก๊สชนิดอื่นๆ ปกคลุมตลอดแนวเชื่อม เพื่อป้องกันอากาศจากภายนอกทำปฏิกิริยากับแนวเชื่อม ขนาดลวดเชื่อมมิกที่นิยมใช้กันมากได้แก่ ขนาด 0.8, 0.9, 1.0, 1.2 และ 1.6 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 10 ลวดเชื่อมมิกสามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะงานเชื่อม ได้แก่ ลวดเชื่อมมิกสำหรับงานเหล็ก ลวดเชื่อมมิกสำหรับงานสแตนเลส ลวดเชื่อมมิกสำหรับงานอลูมิเนียม ตัวอย่างลวดเชื่อมมิกสำหรับงานเหล็ก AWS A5.18 ER70S-6 เป็นลวดเชื่อมสำหรับงานเหล็กเหนียว และเหล็กทนแรงดึงสูง มีความแข็งแรงประมาณ 70,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เทียบเท่ากับลวดเชื่อมไฟฟ้า โดยมีองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกลของลวดเชื่อมตามตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 10 ลวดเชื่อมมิก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของลวดเชื่อม ER70S-6

องค์ประกอบทางเคมี	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo
AWS A5.18 ER70S-6	0.07- 0.15	1.40- 1.85	0.80- 1.15	0.025	0.035	-	-	0.5	-

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกลของลวดเชื่อม ER70S-6

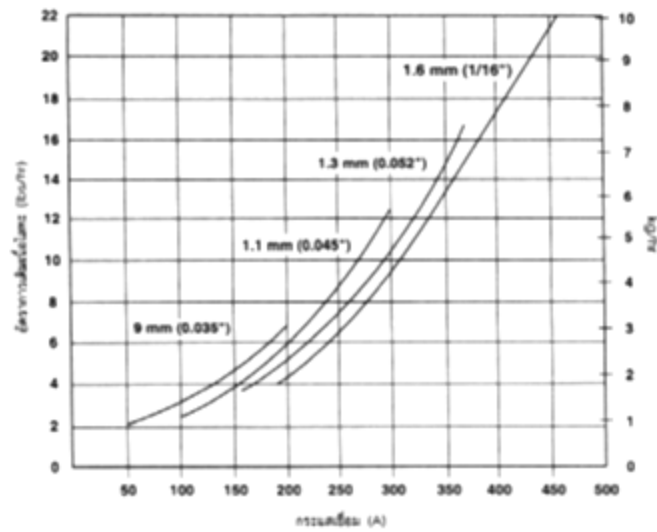
คุณสมบัติทางกล	ความต้านแรงดึงคราก [MPa]	ความต้านแรงดึงสูงสุด [MPa]	%การยืดตัวต่ำสุดในความยาว [50 mm.]	ความต้านแรงกระแทกต่ำสุด [J at °C]	แก๊สคลุม
AWS A5.18 ER70S-6	500	420	22	27 at -29	CO ₂

2.1.4.3 องค์ประกอบสำหรับงานเชื่อมโลหะ

การเชื่อมโลหะองค์ประกอบ หรือตัวแปรต่างๆ มีส่วนเกี่ยวข้องในการควบคุมกระบวนการเชื่อม และคุณภาพงานเชื่อม การเลือกตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมจะช่วยให้ผู้เชื่อมปฏิบัติการเชื่อมได้ง่าย สะดวก และมีผลต่อคุณภาพงานเชื่อม ในกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมที่ป้อนอย่างต่อเนื่องจะปรับค่าแรงดันเชื่อมที่ป้อนด้านหน้าเครื่องเชื่อม ส่วนกระแสเชื่อมจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราเร็วของการป้อนลวด ขณะที่กำลังดำเนินการเชื่อมอยู่ช่างเชื่อมก็ยังสามารถปรับแต่งองค์ประกอบต่างๆ ได้อีกเช่น มุมหัวเชื่อม ความสูงหรือต่ำของระยะอาร์ค เป็นต้น ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อม เมื่ออยู่ในสภาพที่เหมาะสม ลักษณะการอาร์คจะสม่ำเสมอ และเนื้อโลหะเชื่อมที่เติมลงสู่รอยเชื่อมต่อจะมีคุณภาพสูง โดยตัวแปรการเชื่อมโลหะที่เกี่ยวข้องถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

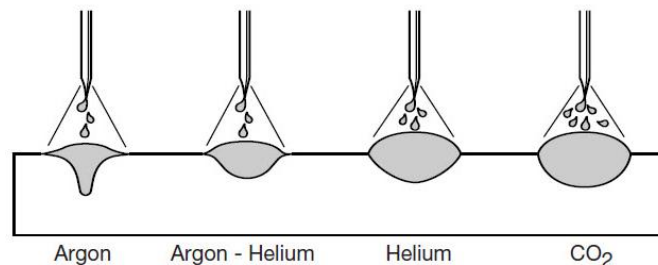
1. ตัวแปรปฐมภูมิ (Primary Variables) ได้แก่

(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม ขนาดของลวดเชื่อมจะมีผลกระทบต่อความกว้างของรอยเชื่อม ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และระยะการซึมลึกของรอยเชื่อม ลวดเชื่อมที่มีขนาดใหญ่จะใช้กระแสไฟฟ้าสูงในกระบวนการเชื่อม ส่งผลให้มีอัตราการหลอมละลายเติมเนื้อโลหะก็จะสูงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลวดเชื่อมขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ โดยใช้กระแสไฟฟ้าเชื่อมเดียวกัน ลวดเชื่อมที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการหลอมละลายเติมเนื้อโลหะได้มากกว่า เพราะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่า ทำให้เกิดความร้อนมากกว่า ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 อัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อม

(2) ชนิดแก๊สคลุม (Gas Shield) กรรมวิธีการเชื่อมมิก จะมีการใช้แก๊สเฉื่อย (Inert Gas) เป็นแก๊สปกคลุม เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และควบคุมคุณภาพของรอยเชื่อม อากาศที่ปกคลุมบริเวณอาร์ค จะถูกแทนที่ด้วยแก๊สที่ใช้ปกคลุม เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิหลอมละลาย เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หรือสิ่งสกปรกปะปนในแนวเชื่อม เนื่องจากถ้าชิ้นงานรวบตัว กับออกซิเจน, ไนโตรเจน และไอน้ำในอากาศ จะมีผลทำให้สมบัติด้านความเหนียว (Ductility) และความแข็งแรง (Strength) ของรอยเชื่อมลดลง และเกิดรูพรุนกระจายตัวในชิ้นงานเป็นเหตุให้รอยเชื่อมเกิดการแตกร้าวได้ โดยแก๊สปกคลุมเดิมที่จะใช้แก๊สเฉื่อยจำพวกอาร์กอน ฮีเลียม และจำพวก แก๊สผสม แต่ปัจจุบันใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังภาพที่ 12 [10]



ภาพที่ 12 ลักษณะรอยเชื่อม และคุณสมบัติการเชื่อมลิก เมื่อเลือกใช้แก๊สคลุมแต่ละชนิด

2. ตัวแปรทุติยภูมิ (Secondary Variables) ได้แก่

(1) กระแสไฟฟ้าเชื่อม (Current) ปริมาณกระแสไฟฟ้ามีผลกระทบต่ออัตราการหลอมละลาย และการเติมเนื้อโลหะ ขนาด และรูปทรงของรอยเชื่อม และระยะซิมลิกของแนวเชื่อม กล่าวคือ การปรับกระแสไฟฟ้าสูงเกินไปจะทำให้บ่อหลอมละลายมีขนาดกว้าง ใหญ่ การซิมลิกมาก ซึ่งอาจเกิดเป็นบ่อหลอมทะลุไปอีกด้านหนึ่งของชิ้นงาน ไม่สม่ำเสมอ ควบคุมได้ยาก ทำให้เกิดอาการแหงบริเวณขอบแนวเชื่อม หรือที่เรียกว่า Undercut แต่ถ้าปรับกระแสไฟฟ้าต่ำเกินไป เวลาเชื่อมจะเกิดรอยนูนขึ้น ขรุขระ ระยะการซิมลิกต่ำ เนื่องจากลวดเชื่อมไม่หลอมละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับเนื้อชิ้นงานบริเวณขอบแนวเชื่อม เรียกว่า Overlap [11]

(2) แรงดันไฟ หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) แรงดันไฟที่ใช้งานจะแปรผันตรงกับระยะอาร์ค ซึ่งแรงดันไฟที่มากเกินไปจะทำให้ได้แนวเชื่อมที่กว้าง ไม่เรียบร้อย เกิดเม็ดโลหะตามขอบรอยเชื่อม ลักษณะการซิมลิกน้อย แต่เมื่อแรงดันน้อยไป จะเกิดแนวเชื่อมที่ไม่สม่ำเสมอ ปลายลวดเชื่อมอาจจะติดเข้ากับผิวชิ้นงานได้ง่าย การซิมลิกน้อย และขนาดรอยเชื่อมแคบ

(3) อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม (Correct Travel Speed) คือ อัตราการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยอัตราการเคลื่อนที่จะถูกควบคุมโดยช่างเชื่อม อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมจะมีผลกระทบต่อระยะซิมลิกของรอยเชื่อม ขนาดรอยเชื่อม และลักษณะรอยเชื่อม อัตราเร็วที่ต่ำเกินไปเนื้อโลหะนูนขึ้นที่ขอบรอยเชื่อม ความร้อนจะถ่ายโอนเข้าสู่ชิ้นงานสูงมากมีผลกระทบต่อบริเวณกระทบความร้อนกว้าง การหลอมตัวของโลหะชิ้นงานไม่ดี มีระยะซิมลิกมากเกินไป เกิดรูพรุนในรอยเชื่อมมาก ในกรณีอัตราเคลื่อนที่หัวเชื่อมสูงเกินไป การถ่ายโอนความร้อนเข้าสู่โลหะชิ้นงานจะลดลงทำให้การหลอมเหลวของโลหะชิ้นงานไม่ดี ระยะซิมลิกน้อย รอยเชื่อมกว้าง และนูนสูง

(4) อัตราเร็วในการป้อนลวดเชื่อม (Wire Feed Speed) ความเร็วที่ป้อนลวดเชื่อมในระหว่างการเชื่อม มีผลกระทบต่อคุณสมบัติงานเชื่อม อย่าง ระยะการซิมลิก ความสูง ความกว้างของแนวเชื่อม รวมถึงอัตราการเติมเนื้อโลหะลงในรอยเชื่อมด้วย เมื่อกำหนดให้แรงดันไฟคงที่ ความเร็วในการป้อนลวดเชื่อมจะพิจารณาจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ กรณีที่กระแสไฟฟ้าต่ำ และอัตราเร็วในการป้อนลวดเชื่อมสูงจะส่งผลลวดเชื่อมมีอัตราการหลอมละลายเติมเนื้อโลหะต่ำ ระยะการซิมลิกของรอยเชื่อมต่ำ รวมถึงคุณภาพงานเชื่อมที่ต่ำด้วยเช่นกัน

3. ตัวแปรตติยภูมิ (Tertiary Variables) ได้แก่

(1) ระยะโผล่ของลวดเชื่อม คือ ระยะห่างจากปลายท่อของหัวเชื่อม และปลายลวดเชื่อม ถ้ามีระยะที่ลวดเชื่อมโผล่มาก ความต้านทานไฟฟ้าของลวดเชื่อมก็จะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้ลวดเชื่อมเกิดความร้อน หรืออุ่นก่อนที่จะหลอมละลาย ทำให้อัตราการหลอมละลายของลวดเชื่อม

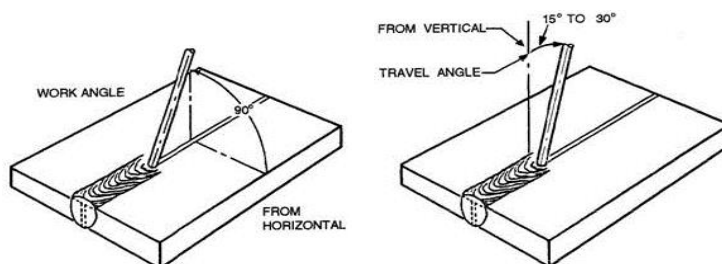
ลดลง ส่งผลให้ระยะการซึมลึกน้อยลงไปด้วย ในทางกลับกันระยะโผล่ของลวดเชื่อมมีน้อย การอุ่นลวดเชื่อมจะลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าเชื่อมที่จ่ายออกมามากขึ้น ทำให้ระยะซึมลึกเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ระยะโผล่ของลวดเชื่อม

(2) อัตราการไหลของแก๊สคลุม ตัวแปรนี้จะส่งผลกระทบต่อความเหนียวของเนื้อโลหะ และการเกิดโพรงอากาศในรอยเชื่อม แก๊สคลุมเป็นแก๊สเฉื่อยที่ทำหน้าที่คลุมรอยเชื่อมในขณะที่เชื่อม เพื่อป้องกันอากาศ หรือสิ่งสกปรกเข้าปะปนรวมกับรอยเชื่อม ดังนั้นอัตราการไหลที่เหมาะสมจะช่วยลดปัญหาการเกิดโพรงอากาศ หรือรูพรุนที่รอยเชื่อม ซึ่งจะส่งผลให้รอยเชื่อมมีคุณสมบัติที่เหนียว และสภาพแข็งแรงต่อการใช้งาน

(3) มุมหัวเชื่อม (Correct Electrode Angle) เป็นมุมที่จะวัดอ้างอิงระหว่างลวดเชื่อมเทียบกับรอยต่อ ซึ่งประกอบด้วยมุม 2 มุม คือ มุมตามแนวยาว (Longitudinal or Nozzle or Work Angle) และมุมทางขวาง (Transverse or Head or Travel Angle) ดังภาพที่ 14 มุมหัวเชื่อมที่ให้ระยะซึมลึกมากที่สุดคือ 15 – 20 องศา มุมหัวเชื่อมที่เลือกใช้จะมีผลต่อลักษณะการซึมลึก และความกว้างของรอยเชื่อม นอกจากนี้ยังมีผลกระทบต่อลักษณะขอบเชื่อมด้วย เมื่อมุมลดลง การซึมลึกของรอยเชื่อมจะลดลง ส่วนความกว้างจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 14 มุมหัวเชื่อม

2.1.5 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ

การตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ (Visual Examination) หมายถึง วิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลายชิ้นงาน เพื่อหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นด้วยสายตา และเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับ (Acceptance Criteria) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM A514/A514M-05: Standard Specification for High-Yield-Strength, Quenched and Tempered Alloy Steel Plate, Suitable for Welding [12] การตรวจสอบด้วยสายตาสามารถตรวจสอบความไม่สมบูรณ์ หรือ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นที่ผิวเท่านั้น ซึ่งสามารถลดข้อบกพร่องที่พบเห็นได้ด้วยสายตาได้ถึง 80-90 เปอร์เซ็นต์

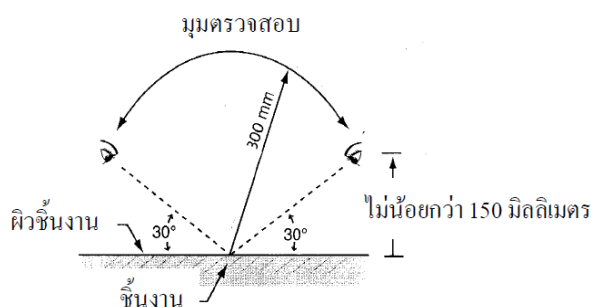
การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ เป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว ประหยัด และไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ โดยทำการตรวจสอบเฉพาะลักษณะภายนอกที่ผิวชิ้นงานเท่านั้น การตรวจสอบจะเป็นการหาลักษณะข้อบกพร่องจากชิ้นงาน เช่น สภาพล้นแนว การแห้วขอบแนว รอยแตกร้าว รูพรุน และ สแลก เป็นต้น

2.1.5.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์การตรวจสอบรอยเชื่อม ประกอบด้วย

1. เครื่องมือวัดสำหรับตรวจสอบ เช่น เกจวัดรอยเชื่อม ไม้บรรทัดฟุตเหล็ก ตลับเมตร เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ ฟिलเลอร์เกจ เป็นต้น
2. เครื่องมือช่วยในการมองเห็น เช่น แว่นขยาย ไฟฉาย เป็นต้น
3. เครื่องมือทำความสะอาด เช่น แปรงลวด ค้อนเคาะสแลก เป็นต้น

2.1.5.2 ขั้นตอนการตรวจสอบด้วยวิธีตรวจพินิจ

1. ขั้นตอนการตรวจสอบจะประกอบด้วย ขั้นตอนดังนี้
 - (1) ทำความสะอาดรอยเชื่อม และบริเวณใกล้เคียง บริเวณที่จะทำการตรวจสอบ ต้องสะอาดแห้ง และไม่มีสิ่งสกปรก จำพวก จารบี น้ำมัน คราบสแลก และอื่นๆ เพื่อให้เห็นลักษณะของรอยเชื่อมชัดเจน
 - (2) ตรวจสอบด้วยสายตา ระยะการตรวจต้องห่างจากผิวชิ้นงานไม่เกิน 300 มม. และองศาการตรวจสอบต้องไม่น้อยกว่า 30 องศา ตามภาพที่ 15 โดยสามารถใช้แว่นขยาย หรือ กล้องส่อง เพื่อให้สามารถเห็นได้ชัดเจน



ภาพที่ 15 ระยะการตรวจสอบชั้นงานด้วยสายตา

(3) การตรวจสอบด้วยสายตา ในพื้นที่การตรวจสอบต้องมีแสงสว่างเพียงพอต่อการตรวจสอบ หรือ แสงสว่างอย่างน้อย 350 ลักซ์

(4) การตรวจสอบด้วยสายตา ผู้ตรวจสอบต้องทำเครื่องหมายในตำแหน่งที่พบเจอข้อบกพร่อง เพื่อเป็นการบ่งชี้จุดข้อบกพร่อง และการสอบกลับ

(5) การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา สามารถทำการตรวจสอบได้ทันที หลังจากที่ยอยเชื่อมบนชั้นงานเย็นตัวลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้ว ยกเว้นเหล็กตามมาตรฐาน ASTM A514 A517 และ A709 เกรด 100W และเหล็กมาตรฐานอื่นที่เทียบเท่า จะสามารถตรวจสอบด้วยวิธีพินิจได้ หลังจากเสร็จงานเชื่อมอย่างน้อย 48 ชม.

2. ระยะการตรวจสอบ จะประกอบด้วยระยะดังนี้

(1) การตรวจสอบก่อนการเชื่อม ต้องตรวจสอบขนาด รูปร่าง ระยะการประกอบ และความสะอาดของชั้นงานที่จะทำการเชื่อม

(2) การตรวจสอบระหว่างการเชื่อม ตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องของรอยเชื่อม เช่น รุพ รุน รอยแตก เป็นต้น จุดต่อระหว่างรอยเชื่อม และชั้นงาน รูปร่างรอยเชื่อม ลักษณะการหลอมละลาย การซึมลึก เป็นต้น

(3) การตรวจสอบภายหลังการเชื่อม ต้องตรวจสอบคราบสแลก รูปร่างแนวเชื่อม รอยบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น ความยาว ความกว้าง รวมถึงการซึมลึกของรอยเชื่อม

(4) การตรวจสอบรอยเชื่อมซ่อม จะเป็นการตรวจสอบรอยเชื่อมที่ผ่านการซ่อมแซมรอยเชื่อมมา โดยต้องตรวจสอบจุดที่เคยเกิดข้อบกพร่อง แนวเชื่อมตรง การซึมลึกที่ได้ตามมาตรฐานหรือไม่เกิดรอยแตกร้าว เป็นต้น

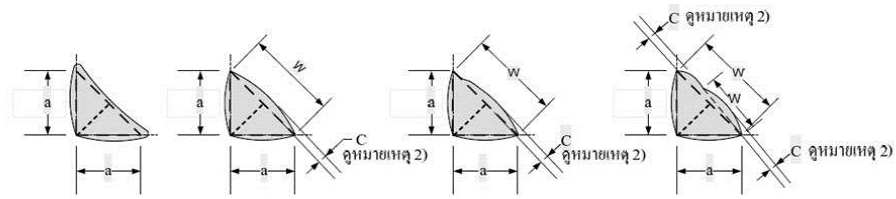
(5) การตรวจสอบภายหลังการใช้งาน จะตรวจสอบสภาพรอยเชื่อมหลังจากผ่านการใช้งาน สภาพการบิดงอของวัสดุ การแตกร้าว คราบสนิม เป็นต้น

2.1.5.3 เกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องของรอยเชื่อม

เกณฑ์การยอมรับ รอยบกพร่องของรอยเชื่อม ตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M : 2006 ดังแสดงในตารางที่ 4 และใช้ภาพที่ 16 ประกอบการพิจารณา [12]

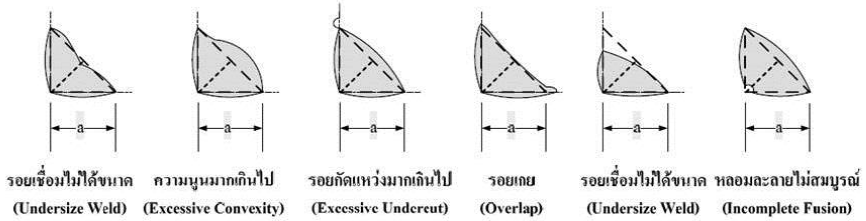
ตารางที่ 4 เกณฑ์การพิจารณายอมรับข้อบกพร่องของรอยเชื่อม

ลำดับ	ประเภทรอยบกพร่อง	รายละเอียด	เกณฑ์การพิจารณายอมรับ
1	รอยแตก (Crack)	รอยแตกทุกชนิด	ไม่อนุญาตให้มี
2	รูพรุน (Porosity)	รอยเชื่อมต่อชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
3	หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ทุกหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมจะต้องเติมแนวเชื่อมให้เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุ	หน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมต้องเติมแนวเชื่อมให้เต็ม
4	รอยกัดแหง (Undercut)	ความหนาโลหะงานน้อยกว่า 25 มม.	ความลึกของรอยกัดแหงไม่เกิน 1 มม. หรือไม่เกิน 2 มม. และความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหงลึกรวมกันไม่เกิน 50 มม. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 มม.
5	รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersized Weld)	1. รอยเชื่อมทุกกรณี 2. กำหนดขนาดรอยเชื่อมระบุ > 8 มม.	รอยเชื่อมที่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม.
6	รอยนูน (Convexity)	กำหนดความกว้างของรอยเชื่อม (Width of Weld Face : W)	$8 < W < 25$ มม. ระยะนูนไม่เกิน 3 มม.
7	รอยเกย (Overlap)	สำหรับรอยเชื่อมมุม และรอยเชื่อมชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
8	หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	สำหรับรอยเชื่อมมุม	ไม่อนุญาตให้มี
ลำดับ	ประเภทรอยบกพร่อง	รายละเอียด	เกณฑ์การพิจารณายอมรับ
9	โลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	โลหะเชื่อมส่วนเกินทั้งกรณีโลหะงานความหนาเท่ากัน หรือโลหะงานความหนาต่างกัน	ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกินไม่เกิน 3 มม.
10	โลหะเชื่อมไม่เต็ม (Underfill)	รอยเชื่อมไม่เต็มสำหรับการเชื่อมต่อชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
11	ความเรียบของผิวรอยเชื่อม (Flush Surface)	สำหรับรอยเชื่อมแบบต่อชนบากร่อง การขัดผิวรอยเชื่อมให้เรียบเสมอโลหะงานต้องมีเงื่อนไข ดังนี้ 1. ความหนาของรอยเชื่อมภายหลังการขัดผิว และความหนาของโลหะงานภายหลังการขัดผิว 2. ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	ไม่น้อยกว่าความหนาของโลหะงานที่บางกว่า ไม่เกิน 1 มม. ไม่เกิน 1 มม.
12	การแต่งผิวรอยเชื่อม (Surface Finishing)	ขัดผิวในทิศทางใดก็ได้	ความหยาบน้อยกว่า 3.2 ไมครอน



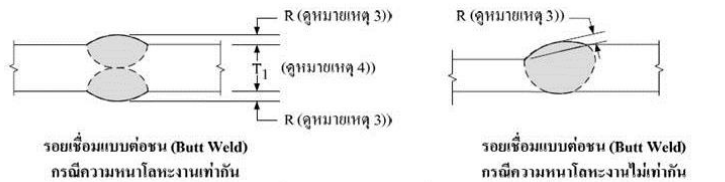
ก. รูปร่างของรอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) ที่ต้องการ

ข. รูปร่างของรอยเชื่อมมุมที่ยอมรับได้



รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersize Weld) ความนูนมากเกินไป (Excessive Convexity) รอยกัดแหว่งมากเกินไป (Excessive Undercut) รอยเกย (Overlap) รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersize Weld) หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)

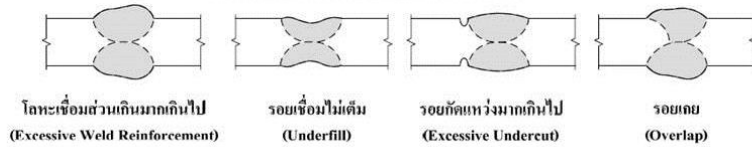
ค. รูปร่างของรอยเชื่อมที่ยอมรับไม่ได้



รอยเชื่อมแบบต่อชน (Butt Weld) กรณีความหนาโลหะงานเท่ากัน

รอยเชื่อมแบบต่อชน (Butt Weld) กรณีความหนาโลหะงานไม่เท่ากัน

ง. ลักษณะรอยเชื่อมแบบต่อชนบากรองที่ยอมรับได้



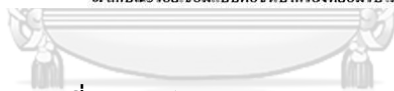
โลหะเชื่อมส่วนเกินมากเกินไป (Excessive Weld Reinforcement)

รอยเชื่อมไม่เต็ม (Underfill)

รอยกัดแหว่งมากเกินไป (Excessive Undercut)

รอยเกย (Overlap)

จ. ลักษณะรอยเชื่อมแบบต่อชนบากรองที่ยอมรับไม่ได้



ภาพที่ 16 ลักษณะการพิจารณารอยเชื่อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเหตุ

1. ขนาดของรอยเชื่อม (Size of Weld : a)
 2. รอยนูน (Convexity : C) ของรอยเชื่อม หรือของแนวเชื่อม ซึ่งมีความกว้าง W มีค่าไม่เกินค่าระบุดังตารางที่ 2.4

3. โลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement : R) ต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

4. T1 หมายถึง ความหนาของโลหะงาน

5. รอยเชื่อมทั้งหมดต้องเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับรอยเชื่อมดังตารางที่ 5 ใน

มาตรฐานนี้

ตารางที่ 5 ขนาดรอยุนที่ยอมรับตามความกว้างของรอยเชื่อม

ความกว้างของแนวเชื่อม (W)	รอยุนสูงสุด (C)
$W \leq 8$ มม.	2 มม.
$8 \text{ มม.} \leq W \leq 25$ มม.	3 มม.
$W \geq 25$ มม.	5 มม.

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิรักษ์ แต่ตระกูล (2553) [13] ศึกษาปัจจัยสำหรับการเชื่อมทิก โดยการออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการเชื่อมชิ้นส่วนเครื่องบิน เพื่อลดตำหนิที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานนำไปสู่อัตราการนำชิ้นส่วนกลับมาซ่อมใหม่ลดลง และเพิ่มคุณภาพชิ้นงาน โดยทำการศึกษาในกระบวนการเชื่อมทิก ศึกษาปัจจัย และทำการเปรียบเทียบปัจจัยในการเชื่อมประกอบด้วย กระแสไฟในการเชื่อม อัตราการป้อนลวด ความเร็วในการเชื่อม และเวลาหน่วง จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งใช้ผลตอบสนอง คือ จำนวนจุดที่เกิดแตกร้าว และจำนวนช่องว่าง ในกระบวนการเชื่อมจะใช้ลวดเชื่อมไททาเนียม ASM 4954, เครื่องเชื่อมทิกแบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Liburdi และแก๊สคลุมชนิดผสมระหว่างอาร์กอน 95% และไฮโดรเจน 5% ในการทดลอง โดยการตรวจสอบตำหนิ หรือจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานด้วยวิธีการ X-Ray แบบไม่ทำลาย พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ คือ กระแสไฟในการเชื่อม อัตราการป้อนลวด และความเร็วในการเชื่อม แล้วนำปัจจัยดังกล่าวมาทำการทดลอง แบบบล็อกซ์-เบห์นเคน โดยทำการทดลองปัจจัย 3 ระดับ คือ ความเร็วในการเชื่อม 2.0, 2.2 และ 2.4 นิ้ว/นาที อัตราการป้อนลวด 22, 25 และ 28 นิ้ว/นาที และกระแสไฟในการเชื่อม 17, 18 และ 19 แอมแปร์ เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการ ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ด้วยระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ค่าที่เหมาะสมของกระแสไฟในการเชื่อมเท่ากับ 18 แอมแปร์ อัตราการป้อนลวด 28 นิ้ว/นาที และความเร็วในการเชื่อม 2.4 นิ้ว/นาที ซึ่งจากการกำหนด และควบคุมปัจจัยตามค่าการทดลองดังกล่าว พบว่า ค่าปัจจัยดังกล่าวสามารถทำให้การแตกร้าว และช่องว่างในการเชื่อมชิ้นส่วนเครื่องบินไม่เกิดขึ้นหลังการเชื่อมได้อีก

อมรศักดิ์ มาใหญ่ (2557) [9] การศึกษาอิทธิพลตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกลยของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกล และโครงสร้างทางโลหะวิทยา ในการทดลองจะใช้แผ่นโลหะหนา 3 มม. มาวางเชื่อมประสานกันในตำแหน่งท่าราบ โดยใช้ลวดเชื่อม AWS.A5.9 ER309L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2

มม. และใช้แก๊สคลุมเป็น แก๊สผสมอาร์กอน 95% และฮีเลียม 5% ตัวแปรควบคุมได้แก่ กระแสไฟเชื่อม, มุมเชื่อม และความเร็วเดินแนวเชื่อม ซึ่งชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมจะถูกนำมาตรวจสอบคุณสมบัติของแนวเชื่อมด้วยสายตาในส่วบริเวณผิวหน้าแนวเชื่อม, ทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการตรวจสอบโครงสร้างในระดับมหภาค (Macro Structure) และจุลภาค (Micro Structure), การทดสอบความแข็งแรงดึงเฉือน (Tensile Shear Strength Testing), การทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ส (Micro Vickers Hardness Test) จากการทดลองกำหนดตัวแปรคือ กระแสไฟเชื่อม 5 ระดับ ได้แก่ 80, 90, 100, 110 และ 120 แอมแปร์ มุมเชื่อม 3 ระดับ ได้แก่ 30°, 45° และ 60° และความเร็วเดินแนวเชื่อม 3 ระดับ ได้แก่ 150, 200 และ 250 มม./นาที ผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังนี้ กระแสไฟเชื่อมมีผลต่อค่าความแข็งแรงของรอยต่อรอยต่อเกลยระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน และเหล็กกล้าไร้สนิม เมื่อกำหนดกระแสไฟเชื่อมที่ 100 แอมแปร์ จะให้ชิ้นงานที่มีค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดที่ 15,570 นิวตัน เมื่อกระแสไฟเชื่อมที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้รอยต่อมีการบิดงอ และยึดตัวเพิ่มขึ้น มุมเชื่อมที่ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนสูงสุดเท่ากับ 15,431 นิวตัน เมื่อใช้มุมเชื่อม 45° เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงมุมเชื่อมเป็น 30° และ 60° ทำให้ค่าความแข็งแรงของรอยต่อมีค่าลดลงเล็กน้อย ค่าความแข็งแรงที่ได้จากการทดสอบบริเวณขอบโลหะเชื่อมมีค่าเท่ากับ 168 HV และบริเวณเนื้อแนวเชื่อมเท่ากับ 162 HV ซึ่งมีความมากกว่าค่าความแข็งแรงของเหล็กกล้าคาร์บอน ความเร็วเดินแนวเชื่อมจะส่งผลให้ได้ค่าความแข็งแรงดึงเฉือนของรอยต่อเกลยที่สูงที่สุดเท่ากับ 20,186 นิวตัน เมื่อใช้ความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 มม./นาที โดยการเดินแนวเชื่อมที่ความเร็ว 150 - 250 มม./นาที สามารถทำให้ได้ค่าความแข็งแรงสูงสุดระหว่าง 190 - 224 HV ซึ่งตัวแปรการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุม รอยต่อเกลยของเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 กับเหล็กกล้าไร้สนิม SUS304 ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ กระแสไฟเชื่อม 100 แอมแปร์ มุมเชื่อม 45° และความเร็วเดินแนวเชื่อม 150 มม./นาที

อนุสิทธิ์ อ่ำไพบุลย์ (2551) [14] เพื่อต้องการเพิ่มความแข็งแรงของรอยเชื่อมโลหะแบบ ST37 ในกระบวนการเชื่อมแบบแม็ก จึงทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อม โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^{5-2} Fractional Factorial Designs และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จึงได้ทั้งหมด 16 การทดลอง และแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือระดับต่ำ และระดับสูง ทำการศึกษาปัจจัย 5 ปัจจัย คือ กระแสไฟ, แรงดันไฟเชื่อม, ความเร็วเชื่อม, มุมหัวเชื่อม และแก๊สคลุม ในการทดลองกำหนดใช้เครื่องเชื่อม HOBART รุ่น RC-304 ลวดเชื่อม ER70S-6 ขนาด 1.0 มม. และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการทดสอบค่าความต้านแรงดึง ซึ่งจากการทดลองที่เกิดขึ้น พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงของตะเข็บรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 จากมากไปหาน้อย คือ แรงดันไฟเชื่อม, มุมหัวเชื่อม, กระแสไฟเชื่อม, ความเร็วเชื่อม และแก๊สคลุม โดยการออกแบบการทดลองทางสถิติค่าที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมแบบแม็ก เพื่อให้ได้ค่าความแข็งแรงของตะเข็บแนวเชื่อมสูงสุด คือ กระแสไฟเชื่อม 220 แอมแปร์ แรงดันไฟเชื่อม 30 โวลต์

ความเร็วเชื่อม 10 นิ้ว/นาที่ มุมหัวเชื่อม 75 องศา และแก๊สคลุม 10 ลิตร/นาที่ เมื่อปรับค่าปัจจัยดังกล่าวจะได้ค่าต้านทานแรงดึงของรอยเชื่อมสูงสุด คือ 6,040 Kgf.

พิศาล เพลินภูเขียว (2016) [1] ได้ศึกษาปัญหาของโรงงานผลิตโพลีเอทิลีนสำหรับเบาะรถยนต์ ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก และการซ่อมโพลีเอทิลีนในการผลิต สูงเกินกว่าที่บริษัทจะยอมรับได้ เช่น ชิ้นงานเป็นหลุม ชิ้นงานฉีกขาด ชิ้นงานฉีกไม่เต็ม เป็นต้น จึงได้ใช้เทคนิค ซิกม่า ซิกม่า (Six Sigma) เข้ามาวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหา พบว่า เกิดจากอุณหภูมิของแม่พิมพ์ก่อนที่จะฉีดน้ำยาโพลีเอทิลีน พนักงานฉีดน้ำยาแม่พิมพ์ปริมาณไม่เท่ากัน และระบบระบายอากาศของแม่พิมพ์ ซึ่งหลังจากนั้นจะออกแบบการทดลอง เพื่อให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด และนำไปแก้ไขในระบบ ทำให้สามารถลดปริมาณของเสียทั้งสามประเภทลดลงได้ โดยคิดเป็น 58.12% ซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 12,862 บาทต่อเดือน จากการทดลองที่สามารถลดปริมาณของเสียในระบบได้แล้วนั้น จำเป็นต้องควบคุมตัวแปร และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ โดยจัดทำเป็นเอกสารการกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Visual Management) ในแต่ละกระบวนการ เพื่อใช้เป็นเอกสารตรวจสอบขั้นตอนการปฏิบัติงานของพนักงาน เพื่อให้เกิดคุณภาพงานที่ดีในขอบเขตที่ยอมรับได้ขององค์กร

สมศักดิ์ สุวรรณมิตร (2009) [15] ธุรกิจอุตสาหกรรมผู้ผลิตรถบรรทุกในปัจจุบันมีการแข่งขันค่อนข้างสูง คู่แข่งในตลาดมีหลากหลาย รวมถึงกระแสการเติบโต หรือแนวโน้มความต้องการรถบรรทุกมีสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเมื่อผู้ศึกษาพิจารณายอดขายรถบรรทุกในทุกโมเดล (Model) ของบริษัท พบว่ารถบรรทุกขนาดเล็ก หรือขนาด 2 ตันของบริษัทมีส่วนแบ่งทางการตลาดเพียง 21% เมื่อเปรียบเทียบกับบริษัทคู่แข่งที่ 67% ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างค่อนข้างมาก ทางผู้ศึกษาจึงต้องการที่จะลดช่องว่าง (Gap) ของส่วนแบ่งทางการตลาดของบริษัท และคู่แข่ง ดังนั้นเพื่อการปรับปรุง และพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สามารถตอบสนองความต้องการ และเกิดความพึงพอใจแก่ลูกค้า จึงนำเอาเทคนิค QFD เข้ามาใช้พิจารณา และวิเคราะห์ โดยเริ่มจากการสำรวจ และเก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer) ในรถบรรทุกขนาด 2 ตัน เพื่อนำมาแปลเป็นข้อกำหนดที่ใช้สื่อสาร และเข้าใจได้ในบริษัท หลังจากได้ข้อกำหนดนั้นมา จะถูกนำไปหาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้กำหนดเป็นวิธีการดำเนินงานในกระบวนการต่อไป โดยแนวทางการศึกษานั้นจะมีอยู่ 2 ส่วน คือการปรับปรุงด้านคุณภาพ และการปรับปรุงด้านผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงด้านคุณภาพนั้น จะเป็นการปรับปรุงกระบวนการดำเนินงาน โดยเริ่มจากเสนอให้มีการอบรมพนักงานในส่วนระบบการทำงาน การตรวจสอบคุณภาพ การจัดเก็บชิ้นส่วน (Part) และการปรับปรุงคุณภาพ ดังแสดงตัวอย่างการอบรมดังภาพที่ 2.16 ส่วนการปรับปรุงด้านผลิตภัณฑ์จะเป็นการเก็บข้อมูลความต้องการจากลูกค้าถึงสิ่งที่ผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องมี และเพิ่มความแข็งแรง ซึ่งจากการพิจารณาพบว่า ผลิตภัณฑ์รถบรรทุกขนาด 2 ตันนั้นต้องสามารถดัดแปลงใช้เชื้อเพลิง CNG ได้ โดยมีลักษณะการดัดแปลง การปรับปรุง

รูปแบบไฟหน้ารถให้สามารถส่องแสงสว่าง และดูทันสมัยมากขึ้น และการเพิ่มความหนาของหม้อน้ำสำรอง เพื่อให้มีความทนทานต่อการสึกหรอจากการใช้งาน ซึ่งจากการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์รถบรรทุกขนาด 2 ตัน ทำให้คุณภาพของกระบวนการผลิต และคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น 36% และ 12.45% ตามลำดับ

ชินธันย์ พิรุณภูมิไกรกุล (2558) [16] ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อรอยเชื่อมท่อทองแดงแบบอัลตราโซนิคมีความสามารถทนแรงดันได้สูงสุด โดยศึกษาตัวแปร 4 ตัว คือ เวลาบิบบท่อทองแดง, เวลาเชื่อมท่อทองแดง, แรงดันลมบิบบท่อทองแดง และระยะเวลาสั้นของหัวโซนาโทรด จากปัจจัยที่ศึกษา 4 ตัว จึงนำเอาหลักการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ดำเนินการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เพื่อศึกษาอิทธิพลหลัก และอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมท่อทองแดงที่ดีที่สุดแบบอัลตราโซนิคอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยใช้การตรวจสอบค่าการทนแรงดันของรอยเชื่อมท่อทองแดงเป็นผลตอบสนอง การทดลอง 4 ปัจจัย และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ทำให้ได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ซึ่งจากการทดลองที่เกิดขึ้นทำให้ทราบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความสามารถทนแรงดันของรอยเชื่อมท่อทองแดงสูงสุด คือ เวลาบิบบท่อทองแดง, แรงดันลมบิบบท่อทองแดง และระยะเวลาสั้นของหัวโซนาโทรด เมื่อกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าตอบสนองแล้ว จึงใช้เทคนิควิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) โดยใช้การทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยเวลาบิบบท่อทองแดง เมื่อปรับค่าระดับต่ำจะทำให้ความสามารถในการทนแรงดันของรอยเชื่อมท่อทองแดงมากกว่าเมื่อปรับค่าในระดับสูง, ปัจจัยแรงดันลมบิบบท่อทองแดง เมื่อปรับให้อยู่ในค่าระดับต่ำจะส่งผลให้รอยเชื่อมท่อทองแดงสามารถทนแรงดันได้สูงสุด และปัจจัยระยะเวลาสั้นของหัวโซนาโทรดที่ค่าระดับต่ำ จะให้ค่าทนแรงดันของรอยเชื่อมที่น้อยที่สุด เมื่อปรับมาในระดับค่ากลางจะทำให้ค่าทนแรงดันเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว หากปรับมาในระดับสูงสุดจะให้ค่าทนแรงดันที่สูงสุดเช่นกัน โดยการปรับตั้งค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าความสามารถทนแรงดันของรอยเชื่อมท่อทองแดงที่ 18.16 MPa คือ เวลาบิบบท่อทองแดง 1.1 วินาที, แรงดันลมบิบบท่อทองแดง 5.1 บาร์ และระยะเวลาสั้นของหัวโซนาโทรด 22 ไมโครเมตร

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

จากลักษณะสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในบริษัทกรณีศึกษา และทฤษฎีที่จะนำมาใช้สำหรับการวิจัยนี้ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และ 2 แล้วนั้น ในบทนี้จะมีเนื้อหากล่าวถึงกระบวนการวิจัย และวิธีการดำเนินงานวิจัย ในการปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานดัดแปลงของบริษัทกรณีศึกษาให้มีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มคุณภาพงานดัดแปลงของผลิตภัณฑ์รถบรรทุก ซึ่งเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการพัฒนา ปรับปรุงระบบการทำงาน และกระบวนการให้มีคุณภาพ โดยวิเคราะห์จากสาเหตุ หรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ซึ่งปัจจัยที่จะดำเนินการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็นปัจจัยที่เกิดขึ้นจากคน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) วิธีการ (Method) การวัด (Measurement) และสิ่งแวดล้อม (Environment) โดยเริ่มต้นจากการกำหนดวัตถุประสงค์ที่ต้องการปรับปรุงแก้ไขเป็นเป้าหมายของการดำเนินงาน ศึกษาสภาพการทำงาน และปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกี่ยวข้อง และมีความเป็นไปได้ของการเกิดปัญหา เมื่อทราบปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาดังกล่าวแล้ว จะทำการออกแบบการทดลอง เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหา และกำหนดวิธีควบคุมการดำเนินงานในกระบวนการทำงานต่อไป

ซึ่งเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) นอกจากจะเป็นวิธีการที่ใช้ปรับปรุงกระบวนการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการดำเนินงานต่างๆ จากการลดความแปรปรวน (Variation) ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ เพื่อให้กระบวนการมีความสามารถ หรือประสิทธิภาพได้ตามเป้าหมายที่กำหนดแล้ว ยังเป็นวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการพัฒนา และกำหนดแนวทางในการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ โดยเน้นการมีส่วนร่วมของพนักงานภายในองค์กร ด้วยการจัดตั้งทีมผู้เชี่ยวชาญ และผู้มีประสบการณ์สูงในองค์กร เพื่อช่วยวิเคราะห์ และหาแนวทางในการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเอาเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานดัดแปลงของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อสร้างระบบการทำงานที่เป็นมาตรฐาน สร้างความสามารถของกระบวนการให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด เพิ่มคุณภาพในงานดัดแปลง และลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

3.1 สภาพปัญหาปัจจุบันของบริษัทการศึกษา

ในปัจจุบันบริษัทศึกษาดำเนินการดัดแปลงรถบรรทุกตามความต้องการของลูกค้า เพื่อเป็นการสนับสนุนความต้องการของลูกค้า และเป็นวิธีเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาดในการจำหน่ายรถบรรทุก นอกเหนือจากการจำหน่ายรถบรรทุกรูปแบบมาตรฐานของบริษัทการศึกษา จากข้อมูลตั้งแต่เดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 ที่ผ่านมา มีรายการดัดแปลงรถบรรทุกที่ลูกค้าแจ้งความต้องการเข้ามาหลายประเภท ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายการงานดัดแปลงของ เดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561

ลำดับ	รายการดัดแปลง	จำนวนงานดัดแปลง (ครั้ง)												รวม
		ม.ค.-61	ก.พ.-61	มี.ค.-61	เม.ย.-61	พ.ค.-61	มิ.ย.-61	ก.ค.-61	ส.ค.-61	ก.ย.-61	ต.ค.-61	พ.ย.-61	ธ.ค.-61	
1	การดัดแปลง 12 ล้อ เป็นรถหัวลาก	15	10	40	26	29	44	22	25	47	30	22	58	368
2	การดัดแปลงเพิ่มความยาวแชสซี	40	60	40	35	67	83	52	37	75	25	50	66	630
3	การดัดแปลงเปลี่ยนแหนบเป็นดงกลม	20	50	44	45	35	37	31	45	42	31	27	52	459
4	การดัดแปลงย้ายพวงมาลัยซ้าย	2	5	3	7	21	18	15	10	24	5	18	33	161
5	การดัดแปลงรถยกเพลลา	19	17	40	25	25	10	10	10	35	15	15	41	262
6	การติดตั้งระบบ ABS	12	8	10	18	9	20	10	13	20	8	10	28	166
7	การติดตั้งเพิ่มกำลังไคซาร์จ	3	2	0	6	11	10	4	15	20	5	7	26	109
8	การเปลี่ยนจานพ่วง	7	10	15	13	11	17	12	21	18	10	5	25	164
9	การดัดแปลงท่อไอเสีย	5	2	15	10	24	20	7	23	15	3	8	30	162
10	การติดตั้งแอร์ไฟฟ้า	5	5	10	15	10	5	5	10	15	10	10	29	129
11	การติดตั้งชุดตัดเบตเตอร์	2	10	18	11	15	11	12	14	21	18	18	27	177
12	อื่นๆ	10	13	2	5	12	8	9	16	18	10	17	23	143
รวมงานดัดแปลง (ครั้ง)		140	192	237	216	269	283	189	239	350	170	207	438	2,930

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่แสดงข้างต้นจะเห็นได้ว่างานดัดแปลงที่บริษัทศึกษาดำเนินการไปในปี พ.ศ. 2561 ที่ผ่านมานั้น มีความต้องการดัดแปลงของลูกค้าที่หลากหลาย โดยจะมี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบของการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม อย่าง เปลี่ยนจานพ่วงจาก 2 นิ้ว เป็น 3.5 นิ้ว, การติดตั้งแอร์ไฟฟ้า เป็นต้น และรูปแบบที่เปลี่ยนแปลงรถแชสซีมาตรฐาน เช่น การดัดแปลงรถ 12 ล้อเป็นรถหัวลาก, การดัดแปลงเพิ่มความยาวแชสซี เป็นต้น ซึ่งการดัดแปลงที่ดำเนินการอยู่นั้น ยังเป็นรายการที่ลูกค้ามีความต้องการให้ดัดแปลงอย่างต่อเนื่องในกลุ่มลูกค้าที่ต้องการดัดแปลงรถบรรทุก โดยจะเห็นได้จากคำสั่งดัดแปลงในลักษณะเดียวกันที่มีตั้งแต่เดือน มกราคม จนถึง ธันวาคม ในปี พ.ศ. 2561

แต่เนื่องด้วยระบบการทำงานในกระบวนการดัดแปลงไม่มีการควบคุมปัจจัยในการทำงานให้เป็นแบบแผนมาตรฐาน ถูกต้อง และไปในทิศทางเดียวกัน ในเรื่องแบบปฏิบัติงาน และการตรวจสอบเป็นผลให้พนักงานเกิดความผิดพลาดในการทำงานเกิดขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ได้งานดัดแปลงที่ไม่มี

คุณภาพ เกิดข้อบกพร่องขึ้นหลังจากลูกค้านำรถไปใช้งานนำไปสู่การแจ้งเคลม (Claim) หรือข้อร้องเรียนของลูกค้า

ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้บริษัทกรณีศึกษาเกิดความเสียหาย ทั้งค่าใช้จ่ายในการแก้ไข เพื่อดำเนินการแก้ไขงานที่เกิดปัญหาให้กับลูกค้า รวมถึงภาพลักษณ์ของบริษัทที่สูญเสียไป ผู้วิจัยมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้น และความสำคัญของการทำงานในกระบวนการดัดแปลง จึงมุ่งเน้นทำการศึกษา และปรับปรุงกระบวนการดัดแปลงของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อสร้างแบบแผนปฏิบัติงานที่เป็นมาตรฐานให้กับพนักงาน สามารถลดจำนวนข้อบกพร่องในกระบวนการดัดแปลงลงได้ และเพิ่มคุณภาพงานดัดแปลงให้สูงขึ้นตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

3.2 วิธีการดำเนินการ

งานวิจัยฉบับนี้มีลักษณะการดำเนินการแก้ไขปัญหา และพัฒนากระบวนการตามแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) โดยจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) การศึกษากระบวนการดัดแปลงรถบรรทุก ระบบการทำงาน และศึกษาปัญหาตามที่ถูกแจ้งข้อบกพร่อง (Complaint) และนำมาปัญหาดังกล่าวมาระบุเป็นหัวข้อปัญหาที่จะแก้ไข, ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Measure Phase) การวิเคราะห์ปัญหาที่ระบุไว้ในขั้นตอนแรก เพื่อหาสาเหตุ หรือปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวขึ้น โดยดำเนินการตรวจสอบในกระบวนการทำงาน และการดัดแปลงของพนักงาน ซึ่งแบ่งการพิจารณาปัจจัยออกเป็น 5M 1E คือปัจจัยจากคน (Man), ปัจจัยจากวัตถุดิบ (Material), ปัจจัยจากการวัด (Measurement), ปัจจัยจากเครื่องจักร (Machine), ปัจจัยจากวิธีการ (Method) และปัจจัยจากสภาพแวดล้อม (Environment), ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปัญหาจากขั้นตอนการวัดที่วิเคราะห์มาแล้วนั้น นำเอาปัจจัยดังกล่าวมาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการดัดแปลง, ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) การนำค่าปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองมาใช้ปรับปรุงในกระบวนการดัดแปลง เพื่อทำการยืนยันค่าระดับปัจจัย โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองจากการกำหนดค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ถูกใช้งานอยู่ในปัจจุบัน และขั้นตอนสุดท้าย คือ ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase) โดยจะทำการกำหนดแผนการควบคุมค่าระดับปัจจัย และเอกสารปฏิบัติงาน เพื่อให้กระบวนการดัดแปลงสามารถดำเนินงานได้งานที่มีคุณภาพที่สูง สามารถลดข้อบกพร่องได้ตามเป้าหมายที่กำหนด

3.2.1 ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษากระบวนการตัดแปลง การประกอบ และการติดตั้งอุปกรณ์ตามความต้องการของลูกค้า และศึกษาสภาพปัญหาจากข้อบกพร่องที่ลูกค้าร้องเรียนกับบริษัทผู้ผลิต ซึ่งผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลการตัดแปลงของบริษัทผู้ผลิต และรวบรวมปัญหาข้อบกพร่องที่ลูกค้าร้องเรียนในช่วงเดือน มกราคม ถึง เดือน ธันวาคม ปี 2561 เฉพาะข้อบกพร่องที่เกิดจากงานตัดแปลงเท่านั้น ซึ่งข้อมูลจะแสดงตามประเภท จำนวนข้อบกพร่อง และสัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัญหาทั้งหมดในช่วงเวลาที่ผ่านมา เพื่อกำหนดเป้าหมายที่ต้องการปรับปรุง พร้อมทั้งกำหนดรายละเอียด และขอบเขตของการดำเนินงาน และศึกษา

ข้อมูลในช่วงเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 ของจำนวนข้อบกพร่องตามลูกค้าแจ้งร้องเรียนในระบบ ตามตารางที่ 7 สามารถแบ่งประเภทข้อบกพร่อง ได้แก่ แซสซีเสียหาย, รีเลย์เสียหาย, สายลมรั่ว, สายไฟขาด, วาล์วรั่ว, โบลท์คลายตัว, ซีลเกียร์ฝากรั่ว และพ่นสีบาง ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการตัดแปลงของบริษัทจะเห็นได้จากข้อบกพร่องแต่ละประเภทที่มีเกิดขึ้นติดต่อกันทุกเดือน โดยมีลักษณะที่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในข้อมูลของปี 2561 ที่แสดงนั้นจะเห็นว่าข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายเกิดขึ้นทั้งหมด 674 ครั้ง คิดเป็นสัดส่วนที่ ร้อยละ 35.95% ของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นทั้งหมด 1,875 ครั้ง ซึ่งถือว่าข้อบกพร่องดังกล่าวมีสัดส่วนของจำนวนมากที่สุด รองลงมา คือ รีเลย์เสียหาย, สายไฟขาด, สายลมรั่ว, วาล์วรั่ว, โบลท์คลายตัว, พ่นสีบาง และซีลเกียร์ฝากรั่ว ตามลำดับ

เมื่อข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากงานตัดแปลงที่ไม่ได้คุณภาพ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงต้องเป็นผู้รับผิดชอบ และดูแลลูกค้า ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นก็คือ ค่าใช้จ่ายในการแก้ไขงานให้ลูกค้า ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นก่อให้เกิดมูลค่าความเสียหายแก่บริษัทผู้ผลิตจำนวนมาก นอกจากนั้นภาพลักษณ์บริษัทที่สูงสูญเสียไป ความเชื่อมั่นของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์ก็ลดลง จากข้อมูลของปี 2561 ที่ผ่านมามีค่าใช้จ่ายในการแก้ไขข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายนั้นมีค่าสูงที่สุด โดยแต่ละครั้งจะมีค่าใช้จ่ายจำนวน 15,000 บาท/ครั้ง เนื่องจากค่าวัสดุที่สูง และค่าดำเนินการแก้ไขที่ใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทาง ด้วยค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าข้อบกพร่องประเภทอื่น จึงทำให้ข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีค่าใช้จ่ายที่พุ่งสูงขึ้นเป็นอันดับต้นของค่าใช้จ่ายในงานแก้ไขทั้งหมดของปี 2561 โดยคิดเป็นมูลค่าเท่ากับ 10,110,000 บาท หรือคิดเป็น 81.38% ของค่าใช้จ่ายในการแก้ไขทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 8 รองลงมา คือ วาล์วรั่ว, สายไฟขาด, รีเลย์เสียหาย, พ่นสีบาง, สามลมรั่ว, ซีลเกียร์ฝากรั่ว และโบลท์คลายตัว ตามลำดับ

ตารางที่ 7 ข้อบกพร่องจากงานดัดแปลงรถบรรทุกในช่วงเดือน มกราคม ถึง ธันวาคม ปี 2561

ประเภท ข้อบกพร่อง	จำนวนข้อบกพร่อง (ครั้ง)												รวม (ครั้ง)	สัดส่วน (%)
	ม.ค.- 61	ก.พ.- 61	มี.ค.- 61	เม.ย.- 61	พ.ค.- 61	มิ.ย.- 61	ก.ค.- 61	ส.ค.- 61	ก.ย.- 61	ต.ค.- 61	พ.ย.- 61	ธ.ค.- 61		
แชสซีเสียหาย	34	50	87	47	51	72	44	52	78	48	53	58	674	35.95
รีเลย์เสียหาย	20	14	25	25	29	16	5	17	34	11	14	19	229	12.21
สายไฟขาด	5	21	13	19	27	18	10	31	44	14	9	18	229	12.21
สามลมรื้อ	4	19	25	18	20	32	21	17	20	4	7	21	208	11.09
วาล์วรั่ว	29	11	25	13	24	27	19	10	17	8	10	4	197	10.51
โบลท์คลายตัว	10	12	24	3	15	10	29	17	15	8	2	6	151	8.05
พ่นสีบาง	10	12	8	16	7	2	15	10	11	9	10	21	131	6.99
ซีลเกียร์ฝากรั่ว	7	2	1	0	8	10	7	15	2	0	4	0	56	2.99
รวม (ครั้ง)	119	141	208	141	181	187	150	169	221	102	109	147	1,875	100.00
กำลังผลิต	140	192	237	216	269	283	189	239	350	170	207	438	2,930	ครั้ง

ตารางที่ 8 ค่าใช้จ่ายงานแก้ไขข้อบกพร่องของปี 2561

ประเภท ข้อบกพร่อง	รวม (ครั้ง)	ค่าใช้จ่าย (บาท/ครั้ง)	รวมค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายใน การแก้ไข (%)
แชสซีเสียหาย	674	15,000	10,110,000	81.38
วาล์วรั่ว	197	4,500	886,500	7.14
สายไฟขาด	229	2,590	593,110	4.77
รีเลย์เสียหาย	229	1,386	317,394	2.56
พ่นสีบาง	131	2,000	262,000	2.11
สามลมรื้อ	208	800	166,400	1.34
ซีลเกียร์ฝากรั่ว	56	1,285	71,960	0.58
โบลท์คลายตัว	151	100	15,100	0.12
รวม (ครั้ง)	1,875	รวม (บาท)	12,422,464	100.00

จากค่าใช้จ่ายการแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในปี 2561 ที่เกิดเป็นมูลค่าความเสียหายค่อนข้างมาก และเพื่อป้องกันปัญหาที่เกิดขึ้นซ้ำในอนาคต และเกิดค่าใช้จ่ายอย่างต่อเนื่อง ผู้วิจัยจึงต้องการลดปัญหาดังกล่าวลงให้อยู่ในระดับข้อบกพร่องที่บริษัทผู้ผลิตยอมรับได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเริ่มต้น

จากการศึกษา เพื่อแก้ไขปัญหาค่าช้อบพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่มีจำนวนช้อบพร่องสูงสุดของบริษัทผู้ผลิตในปี 2561 ที่ผ่านมา ด้วยเหตุนี้เองทางผู้วิจัยจึงนำมากำหนดเป็นเป้าหมายในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ คือ การลดช้อบพร่องประเภทแซสซีเสียหายในงานดัดแปลงรถบรรทุก เพื่อลดข้อร้องเรียนจากลูกค้าในระบบ และค่าใช้จ่ายในงานแก้ไขของบริษัทกรณีศึกษา โดยมุ่งเน้นแก้ไขช้อบพร่องประเภทแซสซีเสียหายก่อน เนื่องจากมีจำนวนช้อบพร่องมาก ค่าใช้จ่ายสูง และความปลอดภัยในการใช้งานที่มีความเสี่ยงสูงในการเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งช้อบพร่องประเภทอื่นๆ ผู้วิจัยจะนำมาศึกษาต่อ เพื่อพัฒนาต่อไปในอนาคต

3.2.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Measure Phase)

ระยะการวัดเก็บข้อมูล จะทำการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพช้อบพร่องนำมาวิเคราะห์ และหาสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ของปัญหาสภาพช้อบพร่องที่ได้จากขั้นตอนการกำหนดปัญหา โดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการพิจารณา และวิเคราะห์ปัญหา ระยะการวัดในงานวิจัยฉบับนี้จะเริ่มจากผู้วิจัยจะทำการระดมสมอง เพื่อหาสาเหตุของสภาพปัญหาช้อบพร่องที่มีความเป็นไปได้ด้วยแผนผังสาเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) และตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) เพื่อจัดลำดับค่าระดับความสำคัญของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ และคัดเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสภาพปัญหาสูงสุด มาดำเนินการแก้ไข โดยหลังจากได้ปัจจัยนำเข้าไปใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อแก้ไขปัญหาค่าช้อบพร่องไปแล้วนั้น ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากการเก็บรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบช้อบพร่องที่ขาดทักษะ ความชำนาญของพนักงานตรวจสอบ และอื่นๆ ต่างเป็นสาเหตุที่ส่งผลให้ข้อมูลที่รวบรวมมาเกิดความแปรปรวนขึ้นในระบบการวัดของกระบวนการ ส่งผลกระทบให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลไม่มีความถูกต้อง ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ และผลลัพธ์ที่ได้จะไม่ตรงตามเป้าหมายที่กำหนด จึงต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงาน แล้วดำเนินการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพให้มีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3.2.2.1 การวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable)

โดยเริ่มต้นจากการระดมสมองกันในที่ทำงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม 1 คน หัวหน้าหน่วยงานวิศวกรรม 2 คน และวิศวกรตรวจสอบคุณภาพ 3 คน รวม 6 คน ซึ่งผู้วิจัยเป็นหนึ่งในทีมวิศวกรตรวจสอบคุณภาพนั่นเอง โดยทำการรวบรวมความคิดเห็นของสมาชิกในที่ทำงาน เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดช้อบพร่อง

จากข้อมูลที่ฝ่ายวิศวกรรมเก็บรวบรวมจากหน่วยงานรับประกันคุณภาพ ในส่วน ปัญหาข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่ลูกค้าแจ้งข้อร้องเรียนเข้ามานั้นจะมีลักษณะ คือ แซสซีเสียหายร้าย เป็นการแตกของเหล็กแซสซี โดยเริ่มจากส่วนขอบ และเป็นรอยแตกต่อเนื่องยาวตามลักษณะแซสซี ดังภาพที่ 17 เมื่อตรวจสอบ และวิเคราะห์ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญที่เข้าตรวจสอบสภาพ ปัญหาข้อบกพร่องหน้างานของลูกค้า พบว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายได้นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ การเชื่อมต่อปลายแซสซีจากกระบวนการตัดแปลงของบริษัทกรณีศึกษา การเจาะแซสซีสำหรับการประกอบตัวถังของอุ้งต่อตัวถัง และการใช้งานบรรทุกสินค้าเกินความสามารถรับน้ำหนักของตัวรถของลูกค้า ดังแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 17 ลักษณะแซสซีเสียหาย

ตารางที่ 9 สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย

ลำดับ	สาเหตุ	ตัวแปร	จำนวน (ครั้ง)	เปอร์เซ็นต์	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	การเชื่อมต่อปลายแซสซีในกระบวนการตัดแปลง	ควบคุมได้	408	60.53	6,120,000
2	การใช้งานของลูกค้า	ควบคุมไม่ได้	154	22.85	2,310,000
3	การเจาะแซสซีในการประกอบตัวถังของอุ้ง	ควบคุมไม่ได้	112	16.62	1,680,000
รวมทั้งหมด			674	100.00	10,110,000

การเชื่อมต่อปลายแซสซีในกระบวนการตัดแปลงของบริษัทกรณีศึกษา นั้นเป็นการต่อปลายแซสซี เพื่อเพิ่มความยาวของแซสซีให้มีความยาวมากกว่าความยาวมาตรฐาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่บรรทุกสินค้าตามความต้องการของลูกค้า ดังภาพที่ 18 โดยวัสดุที่ใช้ต่อปลายแซสซีจะเป็นวัสดุเกรดเดียวกันกับเหล็กแซสซี คือ SS400 ที่ความหนาเท่ากับ 9 มม. และขั้นตอนการต่อปลายแซสซีจะทำการเชื่อมประสานแบบต่อชนตามแนวการเชื่อมระหว่างเหล็กแซสซี ทั้งสองชิ้นด้วยเครื่องเชื่อมมิกซีในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก



ภาพที่ 18 ลักษณะการต่อปลายแชสซี

จากสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายทั้ง 3 สาเหตุนั้น เมื่อพิจารณา และตรวจสอบสภาพความเสียหายของแชสซี พบว่า แนวเชื่อมตัวอย่าง ดังภาพที่ 19 บริเวณหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมมีลักษณะแนวเชื่อมไม่เต็มรอยมีลักษณะเว้าลึก กินเนื้อโลหะเข้าไป ซึ่งจุดนี้ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการแตกร้าวของแชสซี รวมถึงลักษณะแนวเชื่อมที่มีรูพรุน และมีสิ่งสกปรกเจือปนเป็นจุดเสี่ยงต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายได้ ซึ่งลักษณะเหล่านี้เกิดจากการทำงานของพนักงานที่ดำเนินการการเชื่อมโลหะต่อปลายคัสซีที่ไม่ได้คุณภาพในกระบวนการตัดแปลงสาเหตุจากการใช้งานของลูกค้เกิดจากการบรรทุกสินค้าที่มี น้ำหนักบรรทุกเกินค่าน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานของรถบรรทุก (Overload) ทำให้เหล็กแชสซีได้รับแรงกระทำจากสินค้าเกินความสามารถรับแรงกระทำของเหล็กที่รับได้ รวมถึงสภาพพื้นที่การทำงานที่ไม่เหมาะสมเป็นหลุมเป็นบ่อ ทำให้เหล็กแชสซีได้รับแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุกของสินค้าอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายแชสซีเสียหายในขณะที่เคลื่อนที่พร้อมบรรทุกน้ำหนัก และสุดท้าย คือ การเจาะแชสซีเพื่อใช้ในการประกอบตัวถังของอู่ต่อตัวถัง การเจาะรูที่เหล็กแชสซีจะทำให้เหล็กแชสซีสูญเสียคุณสมบัติความแข็งแรงไปบริเวณจุดเจาะจากความร้อนที่เกิดขึ้นขณะเจาะแชสซี และด้วยการเจาะโดยฝีมือช่างเทคนิคทำให้ความนิ่ง และความมั่นคงในการจับเครื่องมือเป็นผลทำให้บริเวณขอบรูเจาะไม่สม่ำเสมอ เมื่อรถถูกนำไปใช้งานในสภาพบรรทุกของหนักเกินมาตรฐาน หรือเคลื่อนที่ในพื้นที่ทำงานที่ขรุขระ ไม่ราบเรียบ รูดังกล่าวจะเป็นจุดนำให้เกิดการแตกร้าวของเหล็กแชสซี และเป็นรอยแตกร้าวยาวต่อเนื่องตามลักษณะของแชสซี

สาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดความเสียหายของแชสซีที่กล่าวมาข้างต้นนั้น สาเหตุที่เกิดจากการใช้งานของลูกค้ และการเจาะรูบนแชสซีในการประกอบตัวถังของอู่ต่อตัวถังเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นจากการกระทำของบุคคลภายนอกที่ทางผู้วิจัยไม่สามารถควบคุม และดำเนินการแก้ไขได้ ซึ่งในการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาได้มีการเข้าอบรม เข้าแนะนำการใช้งานรถบรรทุก การดูแลรักษา และการขับซื่ออย่างปลอดภัยให้กับทางลูกค้ในวันส่งมอบรถ รวมถึงการเข้าอบรมการประกอบตัวถัง

และวางตัวถังบนรถบรรทุกในวิธีที่ถูกต้องกับอู่ต่อตัวถังไปแล้วนั้น ก็ยังเกิดปัญหาตามมาอยู่เป็นประจำ เนื่องจากการใช้งานของลูกค้ำที่ต้องการขนส่งสินค้าจำนวนมากในแต่ละรอบ เพื่อลดค่าขนส่งสินค้า ลดต้นทุน ลดเวลาการขนส่งของเจ้าของกิจการ การเจาะรูบนแชสซีของอู่ต่อตัวถังเกิดจากความสะดวกของช่างเทคนิคทำการเจาะรูเพื่อติดตั้งตัวถัง และอุปกรณ์ส่วนควบ ไม่ต้องออกแบบ หรือหาวิธีการติดตั้งที่ยุ่งยาก และซับซ้อน จากพฤติกรรมของลูกค้ำ และอู่ต่อตัวถังที่เกิดขึ้นอย่างไม่ถูกต้อง ตามมาตรฐานบริษัทผู้ผลิต และบริษัทควบคุมได้ยาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาเฉพาะสาเหตุที่เกิดจากการเชื่อมต่อปลายแชสซีในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุก โดยการปรับปรุงกระบวนการ กำหนดขั้นตอนการทำงาน เพื่อสร้างชิ้นงานที่มีคุณภาพ และสามารถทำให้จำนวนข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายลดลงได้



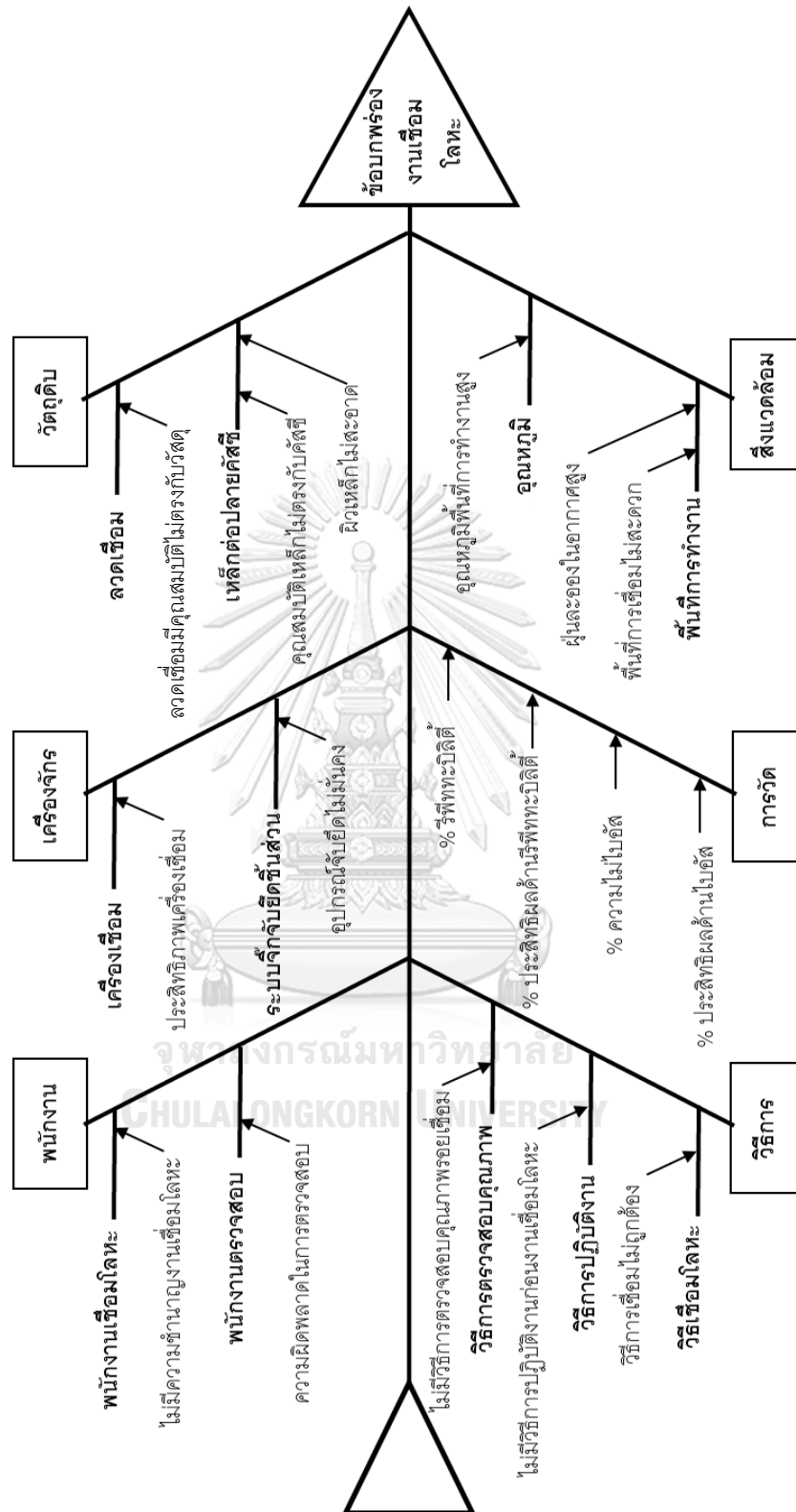
ภาพที่ 19 ลักษณะความเสียหายของแชสซีในจุดหยุดเชื่อมไม่เต็มแนว

3.2.2.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยแผนภาพสาเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพก้างปลา หรือแผนภาพสาเหตุ และผล (Fish Bone Diagram or Cause and Effect Diagram) ถูกนำมาใช้ในการระดมความคิด โดยหาปัจจัยนำเข้าของคุณลักษณะของการเชื่อมโลหะ เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย และส่งผลให้อัตราการเกิดข้อบกพร่องเพิ่มขึ้น โดยจะพิจารณาออกเป็น 5M 1E คือ Man (คน), Material (วัสดุ), Measurement (การวัด), Machine (เครื่องจักร), Method (วิธีการ) และ Environment (สภาพแวดล้อม) ตามแสดงในภาพที่ 3.4

โดยเริ่มจากเข้าศึกษาขั้นตอน รวมถึงกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุกอย่างละเอียด และทำการเก็บข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา และใช้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องในงานเชื่อมโลหะ ทีมงานจะนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการประชุม เพื่อหารือ และวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นไปได้ของข้อบกพร่องในส่วนงานเชื่อมโลหะต่อไป

จากแผนภาพก้างปลา หรือแผนภาพสาเหตุ และผล ในภาพที่ 20 จะเป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดความหลากหลายของคุณภาพงานเชื่อมโลหะ สาเหตุที่มีความเป็นไปได้ และทำให้เกิดข้อบกพร่องของรอยเชื่อม นำไปสู่ปัญหาประเภทแฮสซีเสียหาย ซึ่งจะมีทั้งในส่วนของวัตถุดิบ หรือวัสดุที่ใช้ในงานดัดแปลงที่เกี่ยวข้อง โดยต้องตรวจสอบถึงวัสดุที่ใช้เกรดตรงตามเหล็กแฮสซี หรือไม่ รวมถึงความสะอาดของวัสดุ เครื่องจักรที่ใช้อย่างเครื่องเชื่อมมีก๊าสก็เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ถูกนำมาพิจารณา เนื่องจากในกระบวนการดัดแปลงในส่วนงานเชื่อมโลหะ เครื่องเชื่อมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมองค์ประกอบงานเชื่อมให้สามารถเชื่อมประสานเหล็กสองชิ้นเข้าหลอมรวมกันได้ อาทิ แรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อัตราการไหลของก๊าซคลุมแนวเชื่อม เป็นต้น พนักงานในการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ พนักงานเชื่อมโลหะ ผู้ปฏิบัติงานเชื่อมหน้างานในกระบวนการดัดแปลง และพนักงานตรวจสอบคุณภาพ ผู้ตรวจสอบแนวรอยเชื่อมต่อของแฮสซีเฟรมก่อนปล่อยงานออกจากกระบวนการ วิธีการทำงานในส่วนการปฏิบัติงาน การตรวจสอบคุณภาพ และการเชื่อมโลหะ ซึ่งในการปฏิบัติงานในกระบวนการปัจจุบันยังไม่มีแบบแผน หรือขั้นตอนที่ชัดเจน มาตรฐานการทำงาน of พนักงานแต่ละคนจึงแตกต่างกัน ดังนั้นในความสามารถระบบการวัดของพนักงานจึงไม่เท่ากันด้วยเช่นกัน ทำให้พนักงานไม่สามารถคัดแยก หรือแยกแยะลักษณะข้อบกพร่อง ลักษณะงานที่มีคุณภาพ และลักษณะงานที่กำลังเป็นข้อบกพร่องได้ และส่วนของพื้นที่การทำงานที่มีส่วนทำให้ประสิทธิภาพการทำงาน of พนักงานที่ลดลง เนื่องจากความสะอาด หรือสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยในการปฏิบัติงาน of พนักงาน จากปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นนั้นล้วนมีส่วนทำให้เกิดสภาพรอยเชื่อมที่ไม่ได้คุณภาพ และเสี่ยงต่อการเกิดข้อบกพร่องของปัญหาประเภทแฮสซีเสียหาย ดังนั้นทางผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจึงต้องนำปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อไป เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องในระดับสูง โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุ และผล ตามที่จะได้ดำเนินการในลำดับต่อไป



ภาพที่ 20 แผนภาพสาเหตุ และผล แสดงการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าสู่ของ ปัญหาข้อบกพร่องประเภทแซลซีเสียหยา

3.2.2.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix)

จากปัจจัยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวข้างต้น ในขั้นตอนต่อไปจะทำการกำหนดปัจจัยนำเข้าที่จะทำการแก้ไข ปรับปรุง โดยคัดเลือกปัจจัยนำเข้าจากการให้คะแนนค่าระดับความสัมพันธ์ในตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุ และผล จากการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งคะแนนที่ใช้ระบุระดับความสัมพันธ์จะกำหนดไว้ คือ 9, 3, 1 และ 0 ตามเกณฑ์การกำหนดคะแนนแสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ และผลในคู่มือ Six Sigma Black Belt โดยเรียงจากระดับความสัมพันธ์จากมากไปหาน้อย ดังแสดงในตารางที่ 10 [17] เพื่อให้แต่ละปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่องมีค่าผลรวมของคะแนนระดับความสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน ในกรณีปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่องมากจะมีผลรวมคะแนนสูงอย่างชัดเจน

ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญทำการลงคะแนนระดับความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่อง ตามตารางในภาคผนวก ข-2 แล้วจากนั้นจะนำคะแนนแต่ละปัจจัยมาจัดเรียงตามปัจจัยที่มีคะแนนมากไปหาปัจจัยที่มีคะแนนน้อยดังแสดงในตารางที่ 11 เพื่อทำการตัดปัจจัยที่มีคะแนนน้อยออกไป เนื่องจากคาดว่าปัจจัย ดังกล่าวจะมีผลกระทบต่อปัญหาข้อบกพร่องน้อยที่สุด

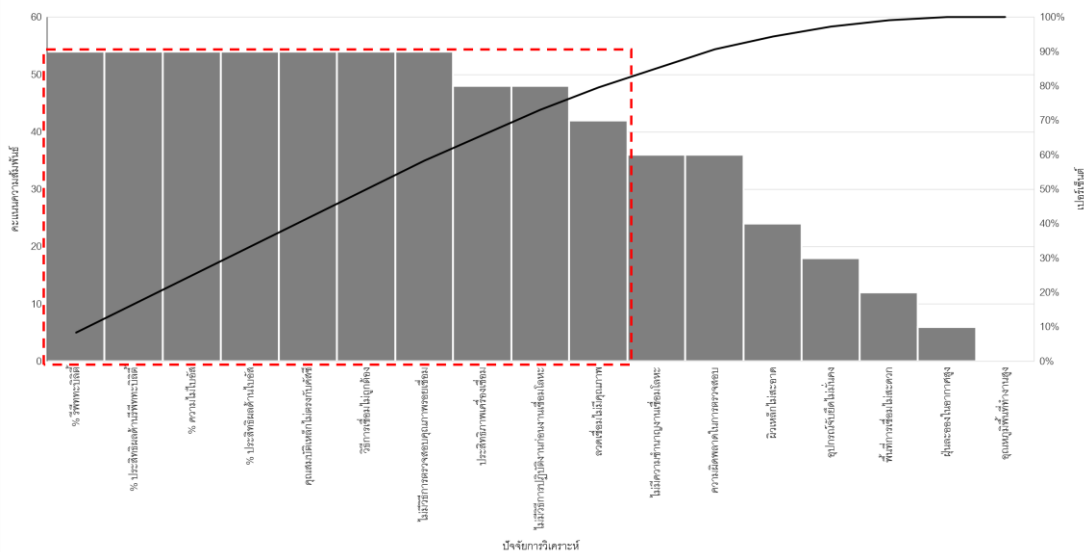
ตารางที่ 10 เกณฑ์คะแนนประเมินความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล

ระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล	คะแนน
ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่องในระดับสูง หรือปัจจัยมีผลกระทบโดยตรง	9
ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่องในระดับกลาง หรือปัจจัยมีผลกระทบบางส่วน	3
ปัจจัยมีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่องในระดับต่ำ หรือปัจจัยมีผลกระทบน้อย	1
ปัจจัยไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่อง หรือปัจจัยไม่มีผลกระทบ	0

ตารางที่ 11 การลงคะแนนระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล

ลำดับ	ปัจจัย	รายละเอียด	คะแนนความสัมพันธ์	เปอร์เซ็นต์	เปอร์เซ็นต์สะสม
1	การวัด	% รีพืทะบิลิตี้	54	8.33	8.33
2	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านรีพืทะบิลิตี้	54	8.33	16.67
3	การวัด	% ความไม่ไว้อัส	54	8.33	25.00
4	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านไว้อัส	54	8.33	33.33
5	วัดดูติบ	คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแชสซี	54	8.33	41.67
6	วิธีการ	วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	54	8.33	50.00
7	วิธีการ	ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม	54	8.33	58.33
8	เครื่องจักร	ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม	48	7.41	65.74
9	วิธีการ	ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ	48	7.41	73.15
10	วัดดูติบ	ลวดเชื่อมมีคุณสมบัติไม่ตรงกับวัสดุ	42	6.48	79.63
11	พนักงาน	ไม่มีความชำนาญงานเชื่อมโลหะ	36	5.56	85.19
12	พนักงาน	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ	36	5.56	90.74
13	วัดดูติบ	ผิวเหล็กไม่สะอาด	24	3.70	94.44
14	เครื่องจักร	อุปกรณ์จับยึดไม่มั่นคง	18	2.78	97.22
15	สิ่งแวดล้อม	พื้นที่การเชื่อมไม่สะดวก	12	1.85	99.07
16	สิ่งแวดล้อม	ฝุ่นละอองในอากาศสูง	6	0.93	100.00
17	สิ่งแวดล้อม	อุณหภูมิพื้นที่ทำงานสูง	0	0.00	100.00
รวม			648	100.00	

จากตารางที่ 11 คะแนนระดับความสัมพันธ์สาเหตุ และผลของแต่ละปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย ในส่วนคุณภาพของงานเชื่อมโลหะ โดยถูกจัดเรียงปัจจัย และรายละเอียดตามคะแนนระดับความสัมพันธ์จากมากไปหาน้อย ผู้วิจัยจะทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์ เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุง โดยใช้หลักการของพาเรโต (The Pareto Principle) เพื่อเลือกปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดข้อบกพร่องของรอยเชื่อมในสัดส่วน 80 % อันดับแรกก่อน ดังแสดงในภาพที่ 21 เพื่อดำเนินการปรับปรุงแก้ไขก่อน พบว่ามีปัจจัย 10 ปัจจัยที่อยู่ในส่วน 80% ที่ส่งผลกระทบต่ออันดับต้นๆ ประกอบด้วย % รีพืทะบิลิตี้, % ประสิทธิภาพด้านรีพืทะบิลิตี้, % ความไม่ไว้อัส, % ประสิทธิภาพด้านไว้อัส, คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแชสซี, วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง, ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม, ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม, ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ และลวดเชื่อมไม่มีคุณภาพ ตามลำดับ



ภาพที่ 21 พาเรโตแสดงการจัดเรียงคะแนนระดับความสัมพันธ์ของสาเหตุ และผล

หลังจากผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญทำการวิเคราะห์ เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มิใช่ในการทดลอง จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุ และผล และคัดเลือกปัจจัยด้วยวิธีของพาเรโต ทำให้ได้ปัจจัยที่มีค่าระดับความสัมพันธ์สูงระหว่างปัจจัยนำเข้า และปัญหาที่เกิดขึ้น 10 ปัจจัย เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการเชื่อมโลหะ ในส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุก ซึ่งจากปัจจัยนำเข้าทั้ง 10 ข้อนั้นสามารถแบ่งเป็นแนวทางการแก้ไขได้ 4 วิธี คือ การแก้ไขด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัด (Gage R & R), การคาลิเบรทเครื่องมือ (Calibration), การจัดทำคู่มือ หรือวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ดังแสดงในตารางที่ 12 โดยแบ่งตามปัจจัย และรายละเอียดของปัจจัยนำเข้า

ตารางที่ 12 แนวทางการแก้ไขปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อม

ลำดับ	ปัจจัย	รายละเอียด	วิธีการแก้ไข
1	การวัด	% รีพีทอะบิลิตี	การวิเคราะห์ระบบการวัด (Gage R & R) คือ การวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานด้านความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy)
2	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านรีพีทอะบิลิตี	
3	การวัด	% ความไม่ไว้อิส	
4	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านไอเอส	

ลำดับ	ปัจจัย	รายละเอียด	วิธีการแก้ไข
5	เครื่องจักร	ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม	การคาลิเบรท (Calibration) เครื่องมือ ทุก 12 เดือน
6	วัตถุดิบ	คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแอสซี	การจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)
7	วิธีการ	ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม	
8	วิธีการ	ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ	
9	วัตถุดิบ	ลวดเชื่อมมีคุณสมบัติไม่ตรงกับวัสดุ	
10	วิธีการ	วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

แนวทางการแก้ไขปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องทั้ง 10 ปัจจัย เป็นแนวทางที่ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญใช้เป็นแนวทางในการลดความแปรผันของปัจจัยให้ลดลง และสร้างแนวปฏิบัติการทำงาน ของพนักงานให้เป็นมาตรฐาน ในรูปแบบเดียวกันทุกคน เพื่อให้กระบวนการทดลองได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แม่นยำ และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไปได้

3.2.2.4 การวิเคราะห์ระบบการ วัดของพนักงานตรวจสอบด้านความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy)

ระบบการวัดมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการควบคุม และปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต เนื่องจากถ้าพนักงานสามารถวัดผลของชิ้นงานได้ จะทำให้ทราบสภาพของชิ้นงานดังกล่าว เมื่อเข้าใจในสภาพชิ้นงาน พนักงานก็จะสามารถจัดการปรับปรุงกระบวนการ และชิ้นงานได้ การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานจะใช้การพิจารณาลักษณะชิ้นงานว่าคุณภาพผ่านหรือไม่ผ่านตามข้อบังคับของลูกค้า หรือข้อกำหนดของบริษัท โดยนับจำนวน หรือสัดส่วนชิ้นงานที่ดี จากนั้นจะประเมินระบบการวัดของข้อมูลนั้น

การวิเคราะห์ระบบการวัด โดยวิเคราะห์ความแม่นยำ และความเที่ยงตรงของระบบการวัดของพนักงาน ตรวจสอบข้อบกพร่อง ประเภทคุณภาพรอยเชื่อมด้วยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งข้อมูลจากการตรวจสอบรอยเชื่อมจะถูกแยกแยะตามข้อกำหนดการตรวจสอบเป็นผ่าน (G) และไม่ผ่าน (NG) โดยใช้ข้อกำหนดตามเกณฑ์มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจตามมาตรฐาน AWS D1.1/D1.1M:2006 (American Welding Society) [12] โดยกำหนดในขั้นตอนการตรวจสอบของงานเชื่อมเป็นเหล็กแอสซีที่ความหนา 9 มม.

การตรวจสอบความสามารถของระบบการวัดของพนักงาน มีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดพนักงานผู้ทำการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานที่ทำงานอยู่ในกระบวนการตรวจสอบคุณภาพงานตัดแปรงรถบรรทุก จำนวน 3 คน เพื่อทำการทดสอบ และประเมินผลความสามารถของระบบการวัดของพนักงาน

2. กำหนดจำนวนชิ้นงานตรวจสอบในกระบวนการตัดแปรง ตามหลักการของ Fasser and Brettner [18] จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในการตรวจสอบจะต้องมีทั้งของดี ของเสีย และของลักษณะก้ำกึ่ง โดยแต่ละประเภทมีสัดส่วน $\frac{1}{3}$ ของจำนวนทั้งหมด ลักษณะก้ำกึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือก้ำกึ่งทางของดี และก้ำกึ่งทางของเสีย ในการทดลองนี้ผู้วิจัยกำหนดจำนวนชิ้นงานโดยคัดเลือกชิ้นงานในกระบวนการตัดแปรง จำนวน 30 ชิ้นงาน ซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาแซสซีเสียหาย จำนวน 10 ชิ้น ชิ้นงานที่มีสภาพรอยเชื่อมสมบูรณ์ 10 ชิ้น และชิ้นงานที่มีลักษณะก้ำกึ่ง 10 ชิ้น โดยแบ่งออกเป็นงานไม่สมบูรณ์แบบก้ำกึ่ง 5 ชิ้น และงานสมบูรณ์แบบก้ำกึ่ง 5 ชิ้น ตามตารางที่ 13 จะเห็นว่าจำนวนพนักงานตรวจสอบ เท่ากับ 3 คน จำนวนชิ้นงานตัวอย่างขั้นต่ำอยู่ที่ 12 ชิ้น แต่ในการทดสอบนี้ ผู้วิจัยกำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ 30 ชิ้น ซึ่งมากกว่าที่แนะนำไว้ เพื่อให้การทดสอบมีความถูกต้อง และแม่นยำในการคัดแยกข้อบกพร่องของพนักงานตรวจสอบ

ตารางที่ 13 จำนวนชิ้นงานที่ใช้แนะนำในการประเมินผลระบบการวัด

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างต่ำสุด	จำนวนการตรวจสอบซ้ำต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
มากกว่า หรือ เท่ากับ 3	12	3

3. การทดลอง กำหนดให้พนักงานแต่ละคนตรวจสอบชิ้นงาน โดยลำดับการตรวจสอบแบบสุ่ม (Random) ประเมินชิ้นงาน คือ ผ่าน (G) หรือไม่ผ่าน (NG) ในการทดลองพนักงานแต่ละคนจะตรวจสอบชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง โดยสุ่มลำดับของชิ้นงานมาทำการตรวจสอบ เพื่อให้พนักงานเกิดการจดจำชิ้นงานตัวอย่างได้

4. บันทึกค่าการทดลอง เพื่อใช้ในการประเมินความแม่นยำ และความเที่ยงตรงของระบบการวัดแยกแยะคุณภาพของชิ้นงาน โดยผลของการทดลองจะถูกบันทึกลงเอกสาร ตามภาพที่

5. เก็บรวบรวมข้อมูลจากเอกสารบันทึกข้อมูล เพื่อทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงาน โดยทำการประเมินผลทางด้านความถูกต้อง และความแม่นยำของระบบการวัด โดยใช้เกณฑ์การยอมรับที่ 100% ดังภาพที่ 15 ในการประเมินผลจะประกอบไปด้วยค่าคำนวณ ดังนี้

- (1) ค่า % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% Appraiser Score)
- (2) ค่า % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score)
- (3) ค่า % ด้านประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ (% Screen Effective Score)
- (4) ค่า % ด้านประสิทธิผลความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Screen Effective Score)

6. สรุปผลจากการประเมินระบบการวัด พบว่า พนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการวัดซ้ำ และความไม่ไบอัสที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับที่ 100% ตามบริษัทกำหนด ซึ่งพบว่าพนักงานตรวจสอบแต่ละคนมีความสามารถในการตรวจสอบซ้ำ และมีความถูกต้องในการตรวจสอบได้ในเกณฑ์ที่ดี คือมีค่ามากกว่า 80% แต่เมื่อพิจารณาในความสามารถการวัดซ้ำ และความถูกต้องในการตรวจสอบของระบบการตรวจสอบของพนักงานทั้ง 3 คน ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี โดยมีค่าน้อยกว่า 80% ซึ่งทำให้ทราบว่าระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบนั้น ความสามารถในการตรวจสอบซ้ำ และความถูกต้องในการตรวจสอบยังไม่อยู่ในเกณฑ์ที่บริษัทยอมรับได้ นั่นคือ พนักงานตรวจสอบไม่สามารถคัดแยกชิ้นงานที่ดี และเสียออกจากกันได้อย่างชัดเจน จากนโยบายของบริษัทที่ให้ ความสำคัญด้านคุณภาพของงานตัดแปลงรถบรรทุก จึงต้องการให้กระบวนการตัดแปลงผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพมากขึ้น และพนักงานตรวจสอบสามารถคัดแยกข้อบกพร่องออกได้อย่างชัดเจน ดังนั้น บริษัทจึงต้องทำการอบรมพนักงานตรวจสอบ โดยการแนะนำวิธีการตรวจสอบความถูกต้องของรอยเชื่อมตามมาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ เพื่อให้พนักงานตรวจสอบเข้าใจวิธีการตรวจสอบ ลักษณะรอยเชื่อมที่ถูกต้อง และสามารถตัดสินใจ เพื่อคัดแยกคุณภาพชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ โดยหลังจากที่พนักงานตรวจสอบผ่านการอบรมไปแล้ว นั้น ทางผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจึงทำการประเมินระบบการวัดของพนักงานใหม่อีกครั้ง โดยให้ตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานทั้ง 30 ชิ้น พบว่า พนักงานสามารถแยกแยะคุณภาพของชิ้นงานได้อย่างถูกต้อง มีความสามารถในการวัดซ้ำ และความไม่ไบอัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของบริษัท ดังแสดงในภาพที่ 16

ตารางที่ 15 ผลการประเมินระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบ

ก่อนอบรม	% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ	% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ	% ด้านประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ	% ด้านประสิทธิผลความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ
พนง.ตรวจสอบ 1	83.33%	83.33%	66.67%	66.67%
พนง.ตรวจสอบ 2	86.67%	86.67%		
พนง.ตรวจสอบ 3	86.67%	86.67%		
หลังอบรม				
พนง.ตรวจสอบ 1	100%	100%	100%	100%
พนง.ตรวจสอบ 2	100%	100%		
พนง.ตรวจสอบ 3	100%	100%		

ตารางที่ 16 เกณฑ์การยอมรับของระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบ

การประเมิน	เกณฑ์ยอมรับ
% ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ	100%
% ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ	100%
% ด้านประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ	100%
% ด้านประสิทธิผลความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ	100%

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ โดยคำนวณค่า % ความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ, % ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ, % ด้านประสิทธิผลความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงานตรวจสอบ และ % ด้านประสิทธิผลความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ ผลประเมินหลังจากการอบรมการตรวจสอบคุณภาพที่ถูกต้องแล้ว ได้เท่ากับ 100% ซึ่งเป็นการบ่งชี้ว่าพนักงานตรวจสอบคุณภาพทุกคนมีความรู้ ความเข้าใจในการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน และสามารถคัดแยกคุณภาพชิ้นงานได้อย่างถูกต้องทุกชิ้น

ความเข้าใจในหลักการตรวจสอบคุณภาพ และวิธีการ จะสร้างความมั่นใจในความสามารถของระบบการตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการ เพื่อการเก็บข้อมูลที่มีความแม่นยำเที่ยงตรง ถูกต้อง และเชื่อถือได้ โดยสามารถนำข้อมูลที่เก็บบันทึกมาวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง

3.2.2.5 การ คาลิเบรท (Calibration) เครื่องมือ

การคาลิเบรท หรือการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) เป็นกระบวนการหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือที่ใช้ภายในโรงงาน เพื่อสร้างความมั่นใจให้ผู้ใช้งานว่าเครื่องมือที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้นมีคุณภาพ และมาตรฐานตามที่บริษัทยอมรับ เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในกระบวนการต่อไปได้หรือไม่ เพื่อให้เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการสามารถผลิตชิ้นงานออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนด

การสอบเทียบเครื่องมือ คือ ตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ โดยการเปรียบเทียบค่าของเครื่องมือวัดที่ใช้งาน กับค่าเครื่องมือวัดมาตรฐานของห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่สามารถสอบกลับได้ ในปัจจุบันมาตรฐานสากลจะกล่าวถึงการสอบเทียบเครื่องมือไว้ทั้งสิ้น เช่น ISO 9000, ISO 14000, ISO/TS 16949 และ มอก.18000 เป็นต้น ภายในโรงงานของบริษัทผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวัดอยู่เป็นประจำทุก 12 เดือน โดยการสอบเทียบเครื่องมือที่ได้มาตรฐานเชื่อถือได้

การสอบเทียบเครื่องเชื่อมภายในบริษัททฤษฎีศึกษาจะทำการทดสอบเครื่องเชื่อม โดยการตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้า และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ออกมาจากเครื่องเชื่อม และทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างปุ่มปรับค่า กับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อน และประสิทธิภาพของเครื่องเชื่อม โดยกำหนดขอบเขตการยอมรับค่าความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐาน BS EN 50504:2008 ดังแสดงในตารางที่ 17 โดยในการทดสอบเครื่องเชื่อมของบริษัททฤษฎีศึกษาใช้ค่ากระแสไฟฟ้า เท่ากับ 300 แอมแปร์ และค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า เท่ากับ 200 โวลต์ในการทดสอบ ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์สูงสุดที่ใช้ในการปรับตั้งค่าที่เครื่องเชื่อม ตัวอย่างเอกสารประกอบการสอบเทียบเครื่องเชื่อมดังกล่าวจะถูกแสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 17 ค่าความเที่ยงตรงของค่าพารามิเตอร์ในการปรับตั้งค่าเครื่องเชื่อม

ค่าพารามิเตอร์ (Parameters)	ค่าความเที่ยงตรง (Accuracy)
ค่ากระแสไฟฟ้า (Current) และ	± 10% ของค่าใช้งานจริง
ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)	± 2.5% ของค่าปรับตั้งสูงสุด

3.2.2.6 การจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)

สภาพการทำงานในปัจจุบันของกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุกในบริษัททฤษฎีศึกษา ทั้งวิธีการทำงาน หรือวิธีการตรวจสอบงานของพนักงาน ยังไม่มีแบบแผนปฏิบัติที่ชัดเจนออกมาในรูปแบบของเอกสาร ซึ่งจากปัญหาการแจ้งข้อร้องเรียนของลูกค้า ทำให้เห็นว่าข้อบกพร่องในคุณภาพการ

เชื่อมต่อกับสายแชสซีเกิดขึ้นค่อนข้างมาก ดังนั้นนอกจากการปรับตั้งค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมแล้ว ซึ่งการปรับตั้งค่าตัวแปรการเชื่อมที่เหมาะสมนั้นจะถูกกล่าวในบทที่ 4 ยังมีการปฏิบัติงาน หรือขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องด้วย เพื่อช่วยลดข้อบกพร่องในคุณภาพงานเชื่อมที่เกิดขึ้น

เอกสารวิธีการปฏิบัติงาน เป็นเครื่องมือที่ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญนำมาประยุกต์ใช้ในการชี้แจงการทำงานที่ถูกต้องให้พนักงานทราบ เป็นเอกสารที่ใช้ควบคุมการทำงานของพนักงานให้ปฏิบัติตามแนวทางที่ถูกต้อง รวมถึงเป็นเอกสารที่ใช้ตรวจสอบการทำงานของพนักงาน ว่าที่ปฏิบัติอยู่นั้นถูกต้องหรือไม่ จากตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่ามี 4 ปัจจัย คือ คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแชสซี, ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม, ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ และลวดเชื่อมมีคุณสมบัติไม่ตรงกับวัสดุ ที่ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจะทำการปรับปรุง โดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานออกมาให้เป็นแบบแผนปฏิบัติงานที่ถูกต้อง ซึ่งวิธีการปฏิบัติงานจะประกอบไปด้วย 3 วิธี ดังนี้

1. วิธีการตรวจสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม โดยจะตรวจสอบวัสดุที่ใช้ในกระบวนการเชื่อมโลหะให้มีความพร้อมก่อนการเชื่อมงานจริง ตรวจสอบคุณสมบัติ หรือชนิดของวัสดุเหล็กที่จะมาทำการต่อปลายแชสซี ลวดเชื่อม แก๊สคลุม เป็นต้น ให้มีคุณสมบัติที่ตรงกับเหล็กแชสซีของตัวรถ รวมถึงสภาพ หรือความสะอาดของวัสดุก่อนนำมาใช้งาน

2. วิธีการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมของชิ้นงาน การตรวจสอบจะอ้างอิงวิธีการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งการตรวจสอบจะดูลักษณะของรอยเชื่อมด้วยสายตา โดยคัดแยกชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมสมบูรณ์สามารถส่งให้ลูกค้าได้ และชิ้นงานที่รอยเชื่อมไม่สมบูรณ์ส่งกลับกระบวนการเชื่อมโลหะ เพื่อทำการแก้ไขให้ได้สภาพรอยเชื่อมที่ผ่านมาตรฐานก่อนส่งมอบให้ลูกค้า

3. วิธีการปฏิบัติในการเชื่อม เป็นการกำหนดค่าตัวแปรในการเชื่อม ซึ่งพนักงานต้องทำการปรับตั้งค่าที่เครื่องเชื่อมตามกำหนดก่อนการเชื่อมทุกครั้ง เพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ซึ่งวิธีการปฏิบัติงาน ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจะจัดทำออกมาในรูปเอกสาร หรือที่เรียกว่า เอกสารปฏิบัติงาน (WI) เพื่อให้พนักงานในกระบวนการสามารถใช้ดูประกอบการทำงาน หรือใช้ตรวจสอบการทำงาน เป็นต้น โดยเอกสารดังกล่าวจะแสดงในภาคผนวก ง

แนวทางการปรับปรุงการทำงานตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และมีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อม จากที่กล่าวไปข้างต้นปัจจัยความสามารถของพนักงานตรวจสอบคุณภาพ และปัจจัยขั้นตอนการทำงาน หรือวิธีการปฏิบัติงาน ผู้วิจัยจะใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัด และการจัดทำเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน เข้ามาปรับปรุงกระบวนการตามลำดับ แต่ปัจจัยเครื่องมือ และอุปกรณ์การเชื่อม การแก้ไขจะเป็นวิธีการสอบเทียบเครื่องมือที่จะทำทุก 12 เดือน โดยดำเนินการจาก

หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานเครื่องมือวัด ดังนั้นผู้วิจัยจะไม่กล่าวถึงในส่วนนี้ และปัจจัยสุดท้ายคือ วิธีการเชื่อม การปรับปรุงจะศึกษาตัวแปร หรือองค์ประกอบในการเชื่อม เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบการทดลอง และหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวทางผู้วิจัยจะกล่าวถึงในบทที่ 4

3.2.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ในส่วนของขั้นตอนการวิเคราะห์ จะเป็นขั้นตอนที่จะวิเคราะห์ เพื่อศึกษาปัจจัยวิธีการเชื่อมที่มีผลกระทบต่ออัตราการเกิดข้อบกพร่องของรอยเชื่อมในกระบวนการตัดแปลง ส่วนงานเชื่อมโลหะของบริษัทรถยนต์ศึกษา ขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์แต่ละองค์ประกอบ เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองในลำดับต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์ ผู้วิจัยจะทำการออกแบบการทดลอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์แต่ละปัจจัย โดยนำเอาปัจจัยนำเข้าจากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุ และผล มาทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาค่าเหมาะสมของแต่ละปัจจัย

3.2.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

การปรับปรุงแก้ไขในขั้นตอนนี้จะนำเอาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆที่วิเคราะห์ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์มากำหนดใช้ปรับปรุงในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุกส่วนงานเชื่อมโลหะ และทำการทดลองในกระบวนการของบริษัทรถยนต์ศึกษา โดยนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับผลการปฏิบัติงานจากค่าของปัจจัยต่างๆในปัจจุบัน เพื่อทำการยืนยันผลลัพธ์ของการทดลองก่อนที่จะนำค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการจริงในส่วนงานเชื่อมโลหะ

3.2.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase)

ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ จะเป็นการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องในส่วนคุณภาพรอยเชื่อมของการเชื่อมโลหะ และติดตามผลการดำเนินงาน หลังการปรับปรุงปัจจัยในกระบวนการ โดยใช้เอกสารแสดงวิธีการปฏิบัติงาน และเอกสารการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อใช้เป็นเอกสารที่ควบคุม และตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะให้อยู่ในระดับเป็นมาตรฐาน และถูกต้อง

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ของผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้หลักการ ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) โดยจะดำเนินงานตามขั้นตอน DMAIC เพื่อปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมในส่วนงานเชื่อมโลหะของกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase)
2. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Measure Phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)
5. ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase)

โดยเนื้อหาในส่วนการนิยามปัญหา และการเก็บข้อมูล ทั้งสองขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้ถูกกล่าวถึงรายละเอียดไว้ในบทที่ 3 แล้ว ดังนั้นในบทนี้ทางผู้วิจัยจะขออภิปรายการดำเนินงานวิจัยในส่วนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อมบนชิ้นงาน ในส่วนงานเชื่อมโลหะ กระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยการเปรียบเทียบค่าปัจจัยกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง และขั้นตอนสุดท้าย คือ การติดตามควบคุมกระบวนการเชื่อมโลหะ เพื่อให้ได้คุณภาพตามที่เป้าหมายกำหนด

4.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ขั้นตอนการวิเคราะห์นี้ ผู้วิจัยจะนำเอาปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังสาเหตุ และผลในขั้นตอนการเก็บข้อมูล โดยนำปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับข้อบกพร่องในระดับสูงในกลุ่มปัจจัยที่มีผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดข้อบกพร่องที่ 80% ของหลักการพาเรโต ประกอบด้วย 10 ปัจจัย ซึ่งรายละเอียดการปรับปรุงของแต่ละปัจจัยทางผู้วิจัยได้อธิบายรายละเอียดไปในบทที่ 3 โดยจะกล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบการวัด (Gage R & R), การ калиเบรท (Calibration) เครื่องมือ และการจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการแก้ไขปัจจัยวิธีการเชื่อมที่ไม่ถูกต้อง โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) ในการวิเคราะห์ปัจจัย เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่มีค่าเหมาะสมในการกำหนดใช้ในงานเชื่อมโลหะของงานตัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทผู้ผลิต

4.1.1 การกำหนดปัจจัยของการทดลอง

การออกแบบการทดลอง จากปัจจัยที่พิจารณาได้ในขั้นตอนการเก็บข้อมูล ในส่วนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) คือ วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ออกมาตรงตามเป้าหมายที่กำหนด คือ การเพิ่มคุณภาพในงานเชื่อมโลหะ โดยการลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องของรอยเชื่อม ดังนั้นทางผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญ จึงนำเอาปัจจัยวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้องมากำหนดเป็นปัจจัยนำเข้าในการทดลอง

ปัจจัยของการเชื่อมที่ถูกต้อง และเหมาะสม เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรง และคงทนจะประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 5 ข้อ [19] ดังนี้

1. ลวดเชื่อม (Electrode)
2. กระแสไฟฟ้า (Current)
3. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)
4. มุมหัวเชื่อม (Angle)
5. ความเร็วในการเชื่อม (Speed)

4.1.1.1 องค์ประกอบที่ 1 : ลวดเชื่อม

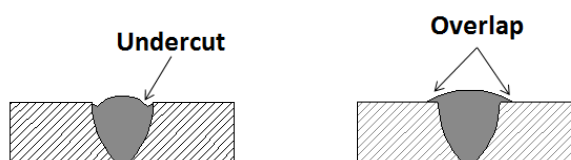
การเลือกลวดเชื่อมจะพิจารณาจากส่วนคุณสมบัติ และส่วนผสมของโลหะที่จะทำการเชื่อมต่อกัน โดยลวดเชื่อมที่จะใช้ในงานเชื่อมต้องมีส่วนผสมของธาตุแบบเดียวกับชิ้นงานโลหะ เพื่อให้ได้รอยเชื่อมที่สมบูรณ์ เนื่องจากถ้าเนื้อชิ้นงาน กับลวดเชื่อมมีธาตุที่ต่างกัน เมื่อเนื้อโลหะมาผสมรวมกันจะเป็นผลทำให้แนวเชื่อมแตกร้าว และคุณภาพรอยเชื่อมที่ลดลง นอกจากการเลือกชนิดลวดเชื่อมแล้ว การเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม (Diameter) ให้เหมาะสมกับกำลังของเครื่องเชื่อมก็เป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากเมื่อเครื่องเชื่อมมีกำลังไฟฟ้าน้อย แต่เลือกลวดเชื่อมที่มีขนาดโตจะทำให้กระแสไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ส่งผลให้การซึมลึกของแนวเชื่อมเกิดได้น้อย รอยต่อของรอยเชื่อมไม่ต่อเนื่อง เป็นต้น โดยลักษณะเฉพาะของลวดเชื่อมจะแสดงตัวอย่างในภาพที่ 22 ดังนั้นผู้เชื่อมจำเป็นต้องพิจารณาในการเลือกลวดเชื่อมที่เหมาะสมกับชิ้นงานก่อนการเชื่อมโลหะเสมอ

	โลหะเชื่อมของลวดเชื่อมแบบแท่ง	โลหะเชื่อมของลวดเชื่อมแบบมีวัสดุเคลือบ	โลหะชิ้นงาน
ความเค้นสูงสุด (psi)	50 – 60,000	60 – 75,000	55 – 70,000
จุดล้า (psi)	38 – 45,000	45 – 60,000	30 – 32,000
ระยะยืด (% ใน 2 นิ้ว)	5.0 – 10.0	20.0 – 40.0	30.0 – 40.0
ระยะยืดตัดอิสระ (%)	10.0 – 20.0	35.0 – 60.0	...
พื้นที่ลดลง (%)	8.0 – 20.0	35.0 – 65.0	60.0 – 70.0
ความหนาแน่น (gm/cm ³)	7.5 – 7.7	7.80 – 7.85	7.85
ขีดจำกัดของความคงทน (psi)	12 – 18,000	26 – 30,000	26 – 30,000
การกระแทก ft./lb	5-15	40-70	50 - 80

ภาพที่ 22 ลักษณะเฉพาะตัวของลวดเชื่อม

4.1.1.2 องค์ประกอบที่ 2 : กระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกองค์ประกอบหนึ่ง เนื่องจากการหลอมละลายของชิ้นงานโลหะนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า การปรับค่ากระแสไฟฟ้านั้นจะมีความสัมพันธ์กับขนาดของลวดเชื่อม ซึ่งมีผลต่อลักษณะการซึมลึกของแนวเชื่อม โดยการปรับกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไปเพื่อหลอมละลายน้ำโลหะจะมีลักษณะกว้าง ทำให้แนวเชื่อมไม่สม่ำเสมอควบคุมแนวเชื่อมได้ยากเป็นผลให้เกิดรอยแหงนบริเวณขอบของแนวเชื่อม ที่เรียกว่า Undercut แต่เมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าต่ำเกินไป การเกิดการหลอมละลายของโลหะเกิดขึ้นได้น้อย ลวดเชื่อมไม่หลอมละลายเข้ากับเนื้อชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดเป็นรอยนูนบริเวณขอบชิ้นงาน เรียกลักษณะแบบนี้ว่า Overlap ดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ลักษณะการเกิด Undercut และ Overlap

4.1.1.3 องค์ประกอบที่ 3 : แรงเคลื่อนไฟฟ้า

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้า กล่าวคือ เมื่อกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดแนวเชื่อมกว้าง ไม่เรียบร้อย มีเม็ดโลหะกระเด็นติดบริเวณขอบแนวเชื่อม และการซึมลึกของรอยเชื่อมเกิดได้น้อย แต่เมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำเกินไปแนวเชื่อมที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากปลายลวดเชื่อมจะเข้าติดกับผิวชิ้นงาน รอยเชื่อมจะมีลักษณะแคบ และรอยนูน

4.1.1.4 องค์ประกอบที่ 4 : มุมหัวเชื่อม

มุมของหัวเชื่อมที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานจะมีผลต่อการส่งผ่านน้ำโลหะไปยังบ่อหลอมละลาย การทำมุมหัวเชื่อมที่ไม่ถูกต้องจะมีผลทำให้แนวเชื่อมไม่สมบูรณ์ เช่น การซึมลึกของรอยเชื่อม น้อย เกิดรอยแหงนที่บริเวณขอบแนวเชื่อม (Undercut) เป็นต้น มุมของลวดเชื่อมประกอบด้วยมุม 2 มุม คือ มุมตามยาว (Longitudinal or Nozzle or Work Angle) และมุมตามขวาง (Transverse or Head or Travel Angle) ดังแสดงในตารางที่ 18 [20]

ตารางที่ 18 มุมหัวเชื่อมสำหรับการเชื่อมต่อฉาก และต่อชน

ลำดับ	ท่าเชื่อม	รอยต่อ	มุมตามยาว (องศา)	มุมตามขวาง (องศา)
1	แนวราบ	ร่อง	5-15	90
2	แนวราบ	ตัวที	5-15	30-60
3	แนวตั้ง	ตัวที	10-20	30-60
4	แนวตั้ง	ร่อง	10-20	90
5	เหนือศีรษะ	ตัวที	5-15	30-60

4.1.1.5 องค์ประกอบที่ 5 : ความเร็วในการเชื่อม

การควบคุมความเร็วในการเชื่อมกับกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อขนาดของแนวเชื่อม กล่าวคือ การใช้กระแสไฟฟ้าที่สูงจะเกิดการหลอมละลายสูงทำให้ได้แนวเชื่อมกว้าง แต่ถ้าเชื่อมเร็วจะได้แนวเชื่อมที่มีลักษณะแคบลง เป็นต้น ดังนั้นเมื่อผู้เชื่อมทำการเชื่อมเร็วเกินไปแนวเชื่อมที่ได้จะเป็นแนวเล็ก การซึมลึกของรอยเชื่อม น้อย ส่งผลให้บริเวณแนวเชื่อมไม่มีความแข็งแรง

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทั้ง 5 ของการเชื่อมโลหะสำหรับโรงงานของบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากในกระบวนการเชื่อมโลหะของ การตัดแปลงรถบรรทุกเป็นกระบวนการ เชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม เครื่องเชื่อมที่ใช้งานจะเป็นยี่ห้อ Rilon รุ่น MIG 500 IGBT โดยใช้ลวดเชื่อมมิก AWS A5.18 ER70S-

6 ที่ใช้ในงานเชื่อมต่อปลายแชลชี ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดใช้งานลวดเชื่อมดังกล่าวที่ใช้อยู่ภายในกระบวนการ มุมของหัวเชื่อมเป็นปัจจัยที่เกิดขึ้นจากประสบการณ์ของพนักงานเชื่อมที่แตกต่างกันตามความชำนาญ รวมถึงการรักษาระยะองศาของมุมเชื่อมให้คงที่ต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งสามารถควบคุมได้ยาก ทางผู้วิจัยจึงไม่นำมาให้ประกอบการพิจารณา และวิเคราะห์ ปัจจัยความเร็วในการเชื่อม จะมีลักษณะเดียวกับปัจจัยมุมของหัวเชื่อม ซึ่งเป็นการควบคุมได้ยาก เนื่องจากเป็นพฤติกรรมเฉพาะของแต่ละคน ซึ่งทางผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญพิจารณาว่าความเร็วในการเชื่อมมีส่วนสำคัญของความแข็งแรงของรอยเชื่อม ด้วยการเชื่อมที่เร็วเกินไปจะทำให้บ่อหลอมละลายยังไม่เกิดการซึมลึกของเนื้อโลหะในระดับที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงทำการสำรวจ และคัดแยกพฤติกรรมการเชื่อมของพนักงานออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่พนักงานมีพฤติกรรมเชื่อมที่ช้า หรือกลุ่มเชื่อมช้า และกลุ่มที่พนักงานมีพฤติกรรมเชื่อมที่เร็ว หรือกลุ่มเชื่อมเร็ว

กลุ่มเชื่อมช้า และเชื่อมเร็วทางผู้วิจัย และทีมงานได้ทำการสำรวจจากการเชื่อมโลหะในระยณะแนวเชื่อมที่เท่ากัน คือ 275 มม. โดยกลุ่มเชื่อมช้าใช้เวลา 5-6 นาที และส่วนกลุ่มเชื่อมเร็วใช้เวลา 2-3 นาที ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงนำเอาพนักงานแต่ละกลุ่มมาพิจารณาด้วยในการทดลองนี้ เพื่อใช้เป็นแนวทางการศึกษาถึงปัจจัยความเร็วในการเชื่อมที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

จากการศึกษา และสำรวจในกระบวนการเชื่อมโลหะของงานดัดแปลงรถบรรทุกของ บริษัทผู้ผลิต พบว่า ปัจจัยที่พนักงานเชื่อมจำเป็นต้องควบคุมในการเชื่อมโลหะ ก็คือ กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญ จึงกำหนดปัจจัยดังกล่าวในการออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มเชื่อมช้า และกลุ่มเชื่อมเร็ว โดยนำไปสู่ผลลัพธ์ คือ ชิ้นงานที่ข้อบกพร่องลดลงตามเป้าหมายของบริษัท ดังนั้นปัจจัยที่ผู้วิจัย และทีมงานจะนำมาใช้ในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1. กระแสไฟฟ้า
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า
3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม

4.1.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นการตรวจสอบปัจจัย หรือตัวแปรใดที่มีส่วนเกี่ยวข้อง และส่งผลกระทบต่อชิ้นงานที่ผลิตออกมา โดยมีจุดประสงค์ เพื่อค้นหาข้อเท็จจริงของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิต การออกแบบการทดลองจะวิเคราะห์แต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ โดยการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วทำการทดลอง โดย

พิจารณาผลการทดลองที่ได้ว่าปัจจัยใดมีผลต่อกระบวนการผลิต และสรุปผลจากข้อมูลการทดลอง เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ปรับปรุงในกระบวนการผลิต

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้การออกแบบการทดลอง แบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยกำหนดปัจจัยที่ใช้ทำการทดลองออกเป็น 3 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์สาเหตุ และผล (Cause and Effect Matrix) ก่อนหน้านี้ ได้แก่ กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูม โดยแต่ละปัจจัยจะถูกแบ่งออกเป็นระดับ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) และในแต่ละการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ (Replicate) จำนวน 5 ครั้ง จากนั้นเก็บข้อมูล และวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ เพื่อหาค่าเหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ใช้ปรับปรุงกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่กำหนด

4.1.3 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองจะถูกแบ่งระดับปัจจัยของการทดลองออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) โดยการทดลองจะมี 15 การทดลอง แต่ละการทดลองจะทำการซ้ำ 5 ครั้ง จึงทำให้มีการทดลองทั้งหมด 75 ครั้ง ตามภาพที่ 24 โดยลำดับการทดลองจะเป็นลักษณะการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completed Randomization) โปรแกรม ด้วย Minitab

จากการศึกษาในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ ส่วนงานต่อปลายแชนซีกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ทำให้ทราบว่าเหล็กที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าแชนซีรถบรรทุกมีราคาค่อนข้างสูง การทำการทดลองหลายๆ รอบจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงตามไปด้วย และเกิดความไม่สะดวกในการใช้พื้นที่ทำงานในการทดลอง จากการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยแต่ละครั้งทำให้เกิดการสูญเสียเวลา วัสดุดิบ และพนักงาน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงกำหนดให้ในแต่ละการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

การทดลองจะใช้ปัจจัย 3 ปัจจัย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูม ปัจจัยดังกล่าวจะใช้ควบคุมในกระบวนการเชื่อมโลหะของพนักงาน ซึ่งในขั้นตอนการเชื่อมโลหะของพนักงานนั้น ตัวพนักงานเองก็ถือได้ว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเกิดการรอยเชื่อมที่ไม่ได้คุณภาพ นำไปสู่การเกิดข้อบกพร่องได้เช่นกัน ทั้งเรื่องประสิทธิภาพ และพฤติกรรมของพนักงานแต่ละคนที่ส่งผลให้เกิดแนวการเชื่อมที่แตกต่างกัน แต่เนื่องเรื่องของประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคนจากการทำงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นส่วนที่ผู้วิจัยไม่สามารถคัดเลือกได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของพนักงานเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก พบว่า พฤติกรรมการเชื่อมของพนักงานจะมีระยะเวลาในการเชื่อมที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีอยู่ 2 ช่วง ได้แก่ เชื่อมซ้ำจะใช้

เวลา 5-6 นาที และเชื่อมเร็ว คือ 2-3 นาที โดยเวลาดังกล่าวเป็นการวัดจากการเชื่อมที่ระยะความยาวแนวเชื่อม 275 มิลลิเมตร

การศึกษาเรื่องระยะเวลาในการเชื่อมของพนักงานนั้นเป็นแนวทางในการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยที่ใช้ควบคุมในการเชื่อมอย่างเหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพรอยเชื่อมที่ดีตามเป้าหมายที่ต้องการ และได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมกับพฤติกรรมการเชื่อมที่ต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนพฤติกรรมการเชื่อมช้า และเชื่อมเร็ว ที่ 5-6 นาที และ 2-3 นาที ตามลำดับ

4.1.3.1 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายจากการเชื่อมโลหะของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้า

ในขั้นตอนการเชื่อมโลหะของกระบวนการตัดแปรงรถบรรทุกทุกความเร็วในการเดินแนวเชื่อมให้คงที่มีความสำคัญสำหรับการเชื่อมเป็นอย่างมาก ความเร็วที่คงที่จะส่งผลให้เกิดแนวเชื่อมที่ต่อเนื่องเรียบเป็นแนวยาว ไม่มีสะดุด รวมถึงปัจจัยของกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุมมีส่วนเกี่ยวข้องทำให้แนวเชื่อมมีคุณภาพออกมาตามที่ต้องการ การควบคุมปัจจัยการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปรงปัจจุบันของบริษัทรถบรรทุกศึกษา พนักงานกลุ่มที่มีพฤติกรรมการเชื่อมช้าจะทำการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า อยู่ที่ 200 แอมแปร์, แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 140 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลุม เท่ากับ 25 ลิตร/นาที ตามลำดับก่อนการเชื่อมโลหะ

ในการวิเคราะห์การควบคุมปัจจัยวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้องของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้าในกระบวนการตัดแปรงรถบรรทุก ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญกำหนดค่าปรับตั้งที่ใช้งานในปัจจุบันของพนักงานเป็นค่าระดับกลาง และกำหนดขอบเขตการควบคุมปัจจัยปัจจุบันออกทั้งสองด้าน ด้านละเท่าๆ กันเป็นค่าระดับต่ำ และระดับสูง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ระดับปัจจัยที่ใช้ทำการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนของกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้า

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย		
				ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)
1	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	Current	160	200	240
2	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลท์	Voltage	100	140	180
3	อัตราการไหลของแก๊สคลุม	ลิตร/นาที	Gas Flow	15	25	35

Design		Factors								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central Composite full	unblocked	13	20	31	52	90	152			
	blocked	14	20	30	54	90	160			
Central Composite half	unblocked				32	53	88	154		
	blocked				33	54	90	160		
Central composite quarter	unblocked							90	156	
	blocked							90	160	
Central Composite eighth	unblocked									158
	blocked									160
Box-Behnken	unblocked	15	27	46	54	62		130	170	
	blocked		27	46	54	62		130	170	

ภาพที่ 24 จำนวนการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

จากตารางที่ 19 โดยค่าควบคุมปัจจัยการเชื่อมโลหะที่ใช้ในการทดลองของกลุ่มพฤติกรรมเชื่อมซ้ำจะประกอบด้วยระดับปัจจัย 3 ระดับ ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้า

- (1) ระดับต่ำ (-1) กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 160 แอมแปร์
- (2) ระดับกลาง (0) กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 200 แอมแปร์
- (3) ระดับสูง (+1) กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 240 แอมแปร์

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า

- (1) ระดับต่ำ (-1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 100 โวลต์
- (2) ระดับกลาง (0) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 140 โวลต์
- (3) ระดับสูง (+1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 180 โวลต์

3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม

- (1) ระดับต่ำ (-1) อัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 15 ลิตร/นาที
- (2) ระดับกลาง (0) อัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 25 ลิตร/นาที
- (3) ระดับสูง (+1) อัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 35 ลิตร/นาที

การปรับค่าระดับปัจจัยการเชื่อมโลหะในการทดลองนี้ การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน จะประกอบไปด้วยปัจจัย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะแบ่งได้ 3 ระดับ ทำให้ได้การทดลอง 15 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองจะกระทำที่ระดับปัจจัยนั้นๆ ซ้ำจำนวน 5 ครั้ง จึงทำให้

มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 75 ครั้ง ผู้วิจัยจะใช้ โปรแกรม Minitab ทำการสุ่มลำดับการทดลองอย่างสมบูรณ์ ตามแสดงในตารางที่ 20

หลังจากทำการทดลองตามระดับปัจจัยที่ได้จากการสุ่มครบทั้งหมด 75 การทดลองแล้วนั้น ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนจะถูกบันทึกเก็บข้อมูลการทดลองไว้ ตามตารางที่ 21 และผู้วิจัยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Regression) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ต่อไป

ตารางที่ 20 ลำดับการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ของระดับปัจจัยการเชื่อมโลหะในกลุ่ม
พฤติกรรมกรรมการเชื่อมซ้ำ

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Current	Voltage	Gas Flow	Defect
13	1	0	1	200	140	25	
29	2	0	1	200	140	25	
30	3	0	1	200	140	25	
1	4	2	1	160	100	25	
22	5	2	1	160	140	35	
15	6	0	1	200	140	25	
62	7	2	1	240	100	25	
57	8	2	1	200	180	35	
5	9	2	1	160	140	15	
67	10	2	1	160	140	35	
70	11	2	1	200	180	15	
31	12	2	1	160	100	25	
10	13	2	1	200	180	15	
8	14	2	1	240	140	35	
46	15	2	1	160	100	25	
37	16	2	1	160	140	35	
20	17	2	1	160	140	15	
2	18	2	1	240	100	25	
56	19	2	1	200	100	35	
51	20	2	1	240	140	15	
28	21	0	1	200	140	25	
48	22	2	1	160	180	25	
32	23	2	1	240	100	25	

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Current	Voltage	Gas Flow	Defect
39	24	2	1	200	100	15	
65	25	2	1	160	140	15	
40	26	2	1	200	180	15	
66	27	2	1	240	140	15	
25	28	2	1	200	180	15	
3	29	2	1	160	180	25	
21	30	2	1	240	140	15	
26	31	2	1	200	100	35	
53	32	2	1	240	140	35	
50	33	2	1	160	140	15	
75	34	0	1	200	140	25	
63	35	2	1	160	180	25	
19	36	2	1	240	180	25	
38	37	2	1	240	140	35	
4	38	2	1	240	180	25	
33	39	2	1	160	180	25	
11	40	2	1	200	100	35	
18	41	2	1	160	180	25	
73	42	0	1	200	140	25	
68	43	2	1	240	140	35	
61	44	2	1	160	100	25	
36	45	2	1	240	140	15	
69	46	2	1	200	100	15	
41	47	2	1	200	100	35	
14	48	0	1	200	140	25	
58	49	0	1	200	140	25	
49	50	2	1	240	180	25	
23	51	2	1	240	140	35	
16	52	2	1	160	100	25	
34	53	2	1	240	180	25	
44	54	0	1	200	140	25	
17	55	2	1	240	100	25	
71	56	2	1	200	100	35	

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Current	Voltage	Gas Flow	Defect
35	57	2	1	160	140	15	
42	58	2	1	200	180	35	
52	59	2	1	160	140	35	
7	60	2	1	160	140	35	
9	61	2	1	200	100	15	
45	62	0	1	200	140	25	
59	63	0	1	200	140	25	
47	64	2	1	240	100	25	
6	65	2	1	240	140	15	
24	66	2	1	200	100	15	
12	67	2	1	200	180	35	
64	68	2	1	240	180	25	
54	69	2	1	200	100	15	
60	70	0	1	200	140	25	
72	71	2	1	200	180	35	
74	72	0	1	200	140	25	
27	73	2	1	200	180	35	
55	74	2	1	200	180	15	
43	75	0	1	200	140	25	

ตารางที่ 21 ผลการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับปัจจัย 3 ปัจจัยของกลุ่มพฤติกรรมการ
เชื่อมซ้ำ

ลำดับการทดลอง มาตรฐาน	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊สคลุม (ลิตร/นาที)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง
1	160	100	25	3
2	160	140	15	1
3	160	140	35	1
4	160	180	25	2
5	200	100	15	4
6	200	100	35	5
7	200	140	25	0
8	200	140	25	0

ลำดับการทดลอง มาตรฐาน	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊สคลูม (ลิตร/นาที)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง
9	200	140	25	0
10	200	180	15	0
11	200	180	35	4
12	240	100	25	5
13	240	140	15	3
14	240	140	35	4
15	240	180	25	4

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อนจากการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนัน
เคนของกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมซ้ำ

Response Surface Regression						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	14.0625	3.20545	4.387	0.000		
Current	-0.0600	0.02354	-2.549	0.013		
Voltage	-0.0925	0.01921	-4.815	0.000		
Gas Flow	-0.1625	0.06718	-2.419	0.018		
Current*Current	0.0002	0.00005	2.879	0.005		
Voltage*Voltage	0.0003	0.00005	5.182	0.000		
Gas Flow*Gas Flow	0.0020	0.00087	2.303	0.024		
Current*Voltage	-0.0000	0.00005	-0.000	1.000		
Current*Gas Flow	0.0001	0.00021	0.599	0.551		
Voltage*Gas Flow	0.0004	0.00021	1.798	0.077		
S = 0.373136		PRESS =		12.5260		
R-Sq = 51.66%		R-Sq(pred) =		33.09% R-Sq(adj) = 44.96%		
Analysis of Variance for Defect						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	9.6700	9.67000	1.07444	7.72	0.000
Linear	3	4.1500	3.84358	1.28119	9.20	0.000
Current	1	2.0250	0.90471	0.90471	6.50	0.013
Voltage	1	1.2250	3.22750	3.22750	23.18	0.000
Gas Flow	1	0.9000	0.81459	0.81459	5.85	0.018

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Square	3	5.0200	5.02000	1.67333	12.02	0.000
Current*Current	1	0.7736	1.15385	1.15385	8.29	0.005
Voltage*Voltage	1	3.5080	3.73846	3.73846	26.85	0.000
Gas Flow*Gas Flow	1	0.7385	0.73846	0.73846	5.30	0.024
Interaction	3	0.5000	0.50000	0.16667	1.20	0.318
Current*Voltage	1	0.0000	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Current*Gas Flow	1	0.0500	0.50000	0.05000	0.36	0.551
Voltage*Gas Flow	1	0.4500	0.45000	0.45000	3.23	0.077
Residual Error	65	9.0500	9.05000	0.13923		
Lack-of-Fit	3	0.6500	0.65000	0.21667	1.60	0.199
Pure Error	62	8.4000	8.40000	0.13548		
Total	74	18.7200				

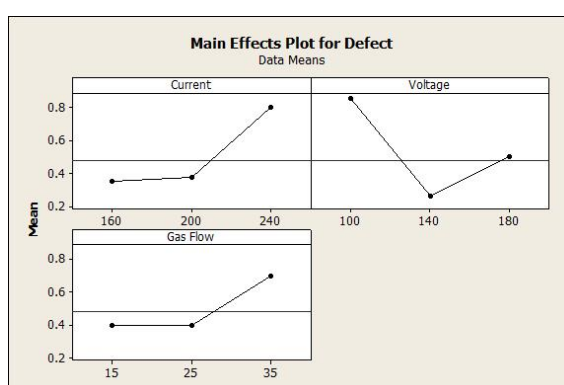
1. ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการทดลองกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมซ้ำด้วยโปรแกรม Minitab

จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติตามตารางที่ 22 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยในการทดลอง โดยแบ่งเป็นผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย พบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่มีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) มีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ

- (1) กระแสไฟฟ้า (Current)
- (2) แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)
- (3) อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow)

และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยในการทดลองที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วม หรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (Interaction Effects) ที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย พบว่า ไม่มีปัจจัยร่วมที่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่มีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ซึ่งผลกระทบของปัจจัยร่วมดังกล่าวยังไม่สามารถระบุได้ว่าแต่ละปัจจัยไม่มีผลกระทบร่วมกันได้ต้องทำการพิจารณาร่วมกับข้อมูลการวิเคราะห์ใน Interaction Plot ที่จะกล่าวถึงในขั้นตอนต่อไป

ในการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อน อิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุมในการทดลองนี้ถือว่ามีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) น้อยมาก ผู้วิจัยจึงนำเอาข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติมาพิจารณา และวิเคราะห์ค่าระดับปัจจัย เพื่อใช้เป็นค่ากำหนดเบื้องต้นในการควบคุมปัจจัยการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot จะแสดงในภาพที่ 25 และ 26 ตามลำดับ



ภาพที่ 25 Main Effects Plot การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อ ค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมซ้ำ

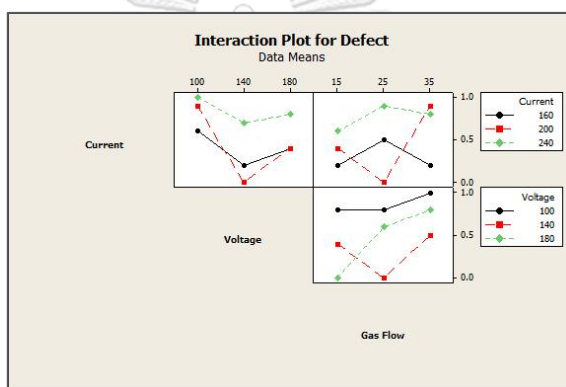
จากภาพที่ 25 Main Effects Plot เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ดังนี้

กระแสไฟฟ้า (Current) กราฟมีลักษณะชันขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าที่ระดับสูง คือ 240 แอมแปร์ จะส่งผลให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับต่ำ 160 แอมแปร์ และระดับกลาง 200 แอมแปร์นั้น จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดลงโดยไม่มี การเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ 160 แอมแปร์ จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กราฟมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่า เมื่อปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในระดับต่ำที่ 100 โวลท์ และระดับสูง 180 โวลท์ จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในระดับกลาง 140 โวลท์จะทำให้จำนวนชิ้นงานบกพร่อง

ลดลงได้ ดังนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 140 โวลท์จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) กราฟมีลักษณะชันขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมเมื่อมีการปรับค่าที่ระดับสูง คือ 35 ลิตร/นาที่ จะส่งผลให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับต่ำ 15 ลิตร/นาที่ และระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่นั้น จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เลย ดังนั้นค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมที่ระหว่าง 15-25 ลิตร/นาที่ จะส่งผลผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 26 Interaction Plot การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อ ค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมต่อ

จากภาพที่ 26 Interaction Plot เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมต่อที่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ดังนี้

กระแสไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยกราฟแนวนอนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า กราฟแนวตั้งเป็นค่า Residual ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย และกราฟเส้นเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 160, 200 และ 240 แอมแปร์ จากลักษณะกราฟ พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าที่ 160, 200 และ 240 แอมแปร์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าลดน้อยลงเมื่อใช้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าไว้ที่ระดับกลาง 140 โวลท์ และในทางกลับกันเมื่อใช้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ระดับต่ำ 100 โวลท์ และระดับสูง 180 โวลท์ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

กระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูม โดยกราฟแนวนอนเป็นอัตราการไหลของแก๊สคลูม กราฟแนวตั้งเป็นค่า Residual ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย และกราฟเส้นเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 160, 200 และ 240 แอมแปร์ จากลักษณะกราฟ พบว่ากราฟทั้ง 3 มีลักษณะทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าที่ 160, 200 และ 240 แอมแปร์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าน้อยลงเมื่อปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สคลูมไว้ที่ระดับต่ำ 15 ลิตร/นาที่ และระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่ และในทางกลับกันเมื่อใช้ค่าอัตราการไหลของแก๊สคลูมที่ระดับสูง 35 ลิตร/นาที่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

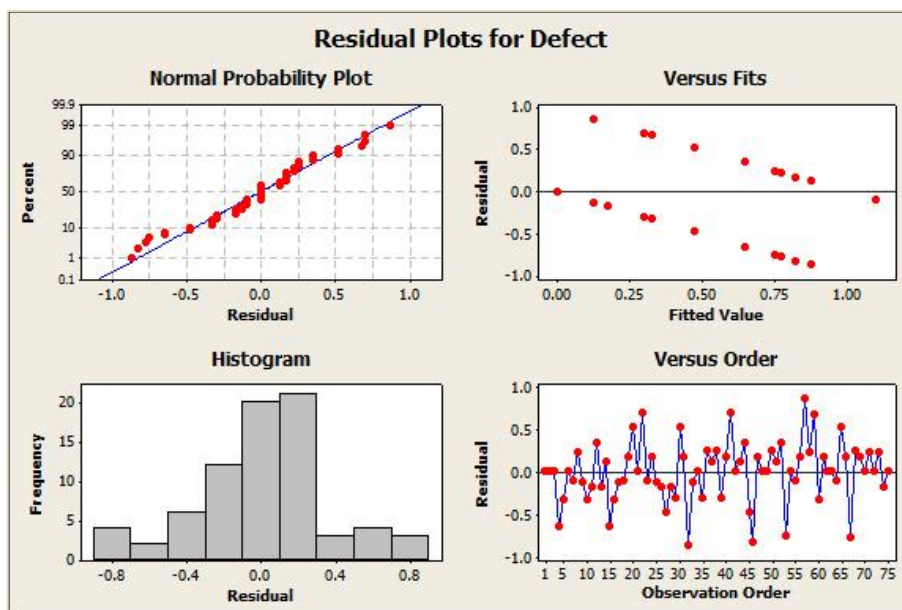
แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูม โดยกราฟแนวนอนเป็นอัตราการไหลของแก๊สคลูม กราฟแนวตั้งเป็นค่า Residual ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย และกราฟเส้นเป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 100, 140 และ 180 โวลท์ จากลักษณะกราฟพบว่า กราฟทั้ง 3 มีลักษณะทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 100, 140 และ 180 โวลท์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าน้อยลงเมื่อปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สคลูมไว้ที่ระดับต่ำ 15 ลิตร/นาที่ และระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่ และในทางกลับกันเมื่อใช้ค่าอัตราการไหลของแก๊สคลูมที่ระดับสูง 35 ลิตร/นาที่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการทดลอง (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจำเป็นต้องเป็นไปตามข้อสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ ซึ่งจะถือว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป ดังนั้นสมมติฐานที่จะต้องตรวจสอบมีดังนี้

- (1) การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง (Normal Distribution)
- (2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independent)
- (3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง (Variance Stability)

การตรวจสอบแบบจำลอง ทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยมีลักษณะการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 Residual Plot ค่า Defect ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในกลุ่มพฤติกรรมการ
เชื่อมซ้ำ

จากภาพที่ 27 จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ดังนี้

(1) การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง (Normal Distribution) จากข้อมูลกราฟ Normal Probability Plot ตรวจสอบค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยจากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีความเป็นอิสระต่อกัน นั่นคือ ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลจากการทดลองของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแอสซีเสียหายไม่แสดงความผิดปกติ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

(2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของข้อมูล จากข้อมูลกราฟ Versus Order โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัว (Scatter Plot) ของค่าส่วนตกค้างว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างอิสระหรือไม่ เมื่อพิจารณาจัดเรียงค่าส่วนตกค้างเรียงตามลำดับการทดลอง และดูลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล ข้อมูลค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลทั้ง 2 ด้าน คือ ด้านบน และด้านล่างที่สมำเสมอกัน โดยไม่มีรูปแบบไปด้านใดด้านหนึ่ง แสดงให้เห็นถึงความ เป็นอิสระของข้อมูล จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

(3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล (Variance Stability) จากข้อมูลกราฟ Versus Fits โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างแต่ละ

ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ ปัจจัยกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูมว่า ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่ เมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวของค่าส่วนตกค้าง พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งทางบวก และทางลบ ไม่มีลักษณะกราฟที่ลู่เข้า หรือลู่ออก ทั้ง 3 ปัจจัย ซึ่งหมายความว่าข้อมูลดังกล่าวไม่มีความแตกต่างในความแปรปรวน หรือมีความเสถียรของความแปรปรวนทั้ง 3 ปัจจัย

3. การสร้างสมการทำนาย

หลังจากทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้จะถูกทำการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวตอบสนอง(Response Surface Regression) ดังแสดงในตารางที่ 22 โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ของปัจจัยไปเขียนเป็นสมการทำนายของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย เพื่อนำสมการทำนายดังกล่าวไปใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ซึ่งสมการทำนายที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวตอบสนองจะแสดงในสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned} \text{Defect} = & 14.0625 - 0.0600(\text{Current}) - 0.0925(\text{Voltage}) - 0.1625(\text{Gas Flow}) \\ & + 0.0002(\text{Current} * \text{Current}) + 0.0003(\text{Voltage} * \text{Voltage}) \\ & + 0.0020(\text{Gas Flow} * \text{Gas Flow}) + 0.0001(\text{Current} * \text{Gas Flow}) \\ & + 0.0004(\text{Voltage} * \text{Gas Flow}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

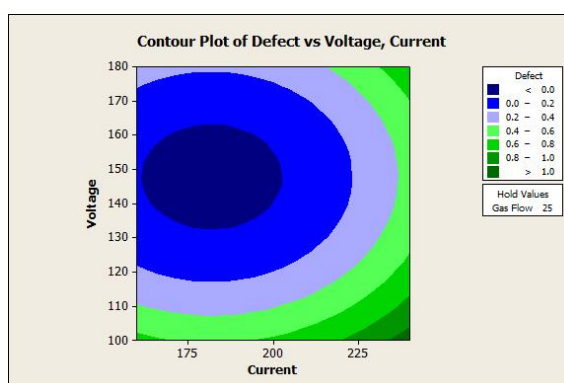
4. การสร้างกราฟโครงร่าง พื้นผิวผลตอบ และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้สมการทำนายของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมาแล้วต่อไป จะนำมาสร้างกราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบ เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูม

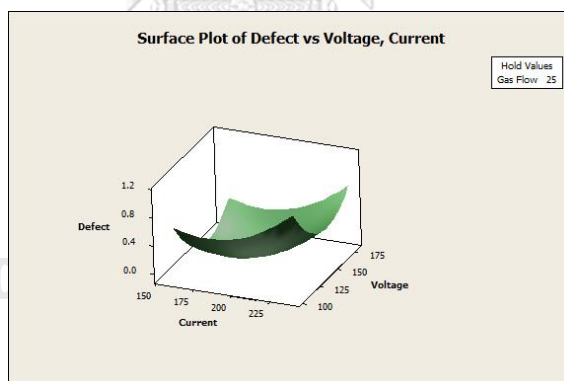
(1) กราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

จากกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ตามภาพที่ 28 โดยกำหนดตำแหน่งของปัจจัยอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) ไว้ที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะลดน้อยลงเมื่อกระแสไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ ช่วง 165-200 แอมแปร์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในระดับกลาง ช่วง 130-160 โวลท์ กราฟโครงร่างจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) เส้นโค้งริมด้านซ้ายของกราฟจะแสดงถึงค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย (Defect) เท่ากับ 0.0 และเส้นโค้งถัดมาจะแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นคือ <0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ >1.0 ตามลำดับ เมื่อนำ

พื้นผิวผลตอบของปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มาแสดงในลักษณะกราฟโครงร่าง และกำหนดระดับตำแหน่งของปัจจัยอัตราการผลิตของแก๊สคลูม (Gas Flow) ไว้ที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่ จะเห็นความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลตอบดังในรูปที่ 29 ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) พบว่า จุดที่มีค่าต่ำสุดของค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีแนวโน้ม และทิศทางไปในแนวเดียวกันกับกราฟโครงร่าง



ภาพที่ 28 กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

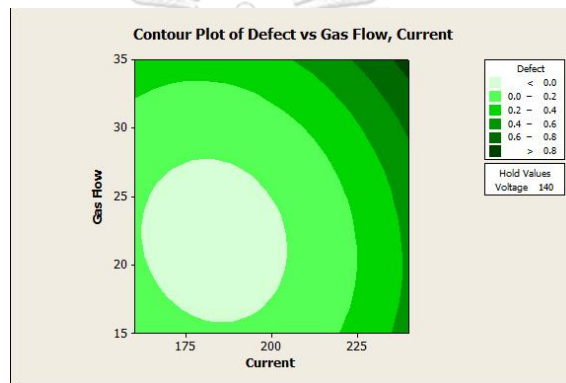


ภาพที่ 29 พื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

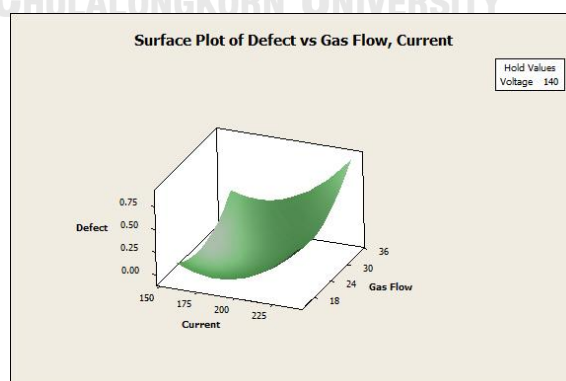
(2) กราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการผลิตของแก๊สคลูม (Gas Flow)

จากกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการผลิตของแก๊สคลูม (Gas Flow) ตามภาพที่ 30 โดยกำหนดตำแหน่งของปัจจัยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ไว้ที่ระดับกลาง 140 โวลต์ ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะลดน้อยลงเมื่อ

กระแสไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ ช่วง 165-200 แอมแปร์ และอัตราการไหลของแก๊สคลูมอยู่ในระดับต่ำ ช่วง 15-25 ลิตร/นาที กราฟโครงสร้างจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) เส้นโค้งริมด้านซ้ายของกราฟจะแสดงถึงค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย (Defect) เท่ากับ 0.0 และเส้นโค้งถัดมาจะแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นคือ <math>< 0.0</math>, 0.2, 0.4, 0.6 และ > 0.8 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นผิวผลตอบของปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) มาแสดงในลักษณะกราฟโครงสร้าง และกำหนดระดับตำแหน่งของปัจจัยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ไว้ที่ระดับกลาง 140 โวลท์ จะเห็นความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลตอบดังในรูปที่ 31 ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) พบว่า จุดที่มีค่าต่ำสุดของค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีแนวโน้ม และทิศทางไปในแนวเดียวกันกับกราฟโครงสร้าง



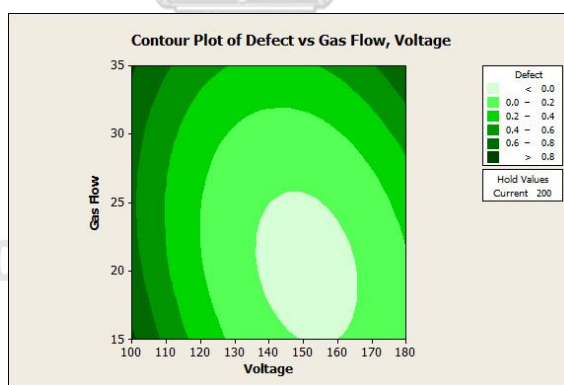
ภาพที่ 30 กราฟโครงสร้างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)



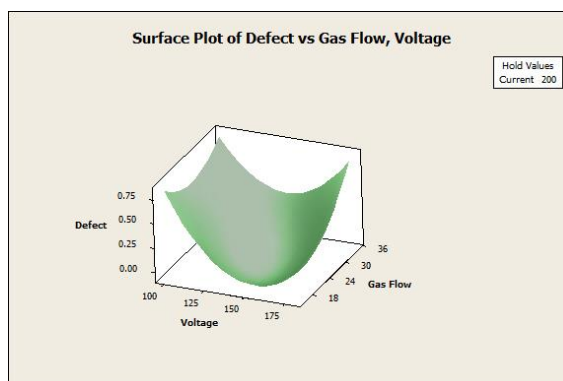
ภาพที่ 31 พื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)

(3) กราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)

จากกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) ตามภาพที่ 32 โดยกำหนดตำแหน่งของปัจจัยกระแสไฟฟ้า (Current) ไว้ที่ระดับกลาง 200 แอมแปร์ ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะลดน้อยลงเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในระดับกลาง ช่วง 140-160 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลูมอยู่ในระดับต่ำ ช่วง 15-25 ลิตร/นาที่ กราฟโครงร่างจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) เส้นโค้งริมด้านขวาของกราฟจะแสดงถึงค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย (Defect) เท่ากับ 0.0 และเส้นโค้งถัดมาจะแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นคือ <math>< 0.0, 0.2, 0.4, 0.6</math> และ > 0.8 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นผิวผลตอบของปัจจัยร่วมระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) มาแสดงในลักษณะกราฟโครงร่าง และกำหนดระดับตำแหน่งของปัจจัยกระแสไฟฟ้า (Current) ไว้ที่ระดับกลาง 200 แอมแปร์ จะเห็นความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลตอบดังในรูปที่ 33 ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) พบว่า จุดที่มีค่าต่ำสุดของค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีแนวโน้ม และทิศทางไปในแนวเดียวกันกับกราฟโครงร่าง



ภาพที่ 32 กราฟโครงร่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)



ภาพที่ 33 พื้นผิวผลตอบระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)

5. การหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

หลังจากที่ได้สมการทำนายค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายไปแล้ว นั้น ในขั้นตอนนี้จะกำหนดขอบเขตของผลตอบ (Goal), ค่าต่ำสุด (Lower), ค่าเป้าหมาย (Target) และค่าสูงสุด (Upper) รวมถึงกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าความสำคัญของผลตอบ (Importance) โดยทั้งสองค่าดังกล่าวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-10 ดังตารางที่ 23

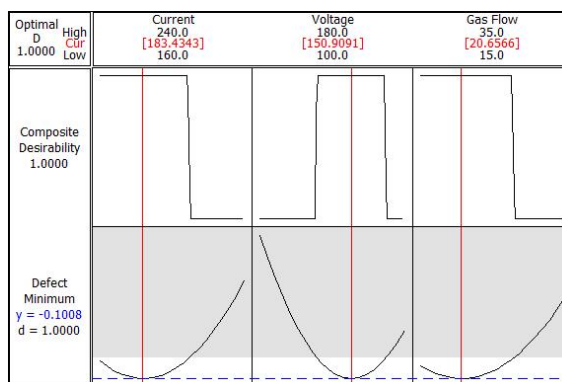
ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 34 ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability : D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยค่า D เท่ากับ 1 นั่นคือ ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 23 การกำหนดขอบเขตของผลตอบ โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab

Response Optimization						
Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Defect	Minimum	0	0	0.01	1	1

จากตารางที่ 23 ผู้วิจัยกำหนดค่าผลตอบ (Goal) ให้ได้ค่าในระดับต่ำสุด (Minimize), ค่าต่ำสุด (Lower) เท่ากับ 0 , ค่าเป้าหมาย (Target) เท่ากับ 0 และค่าสูงสุด (Upper) เท่ากับ 0.01 เนื่องจากผู้วิจัยไม่ต้องการให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่อง เพื่อให้เกิดจำนวนชิ้นงาน

บกพร่องน้อยที่สุด โดยในงานวิจัยฉบับนี้ ทางผู้วิจัยจะใส่ค่าน้ำหนัก และค่าความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้ผลตอบที่ได้นั้นอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ และมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด



ภาพที่ 34 ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab

จากภาพที่ 34 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Response Optimizer พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมโลหะของกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก คือ กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 183.4343 แอมแปร์, แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 150.9091 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 20.6566 ลิตร/นาทิจ ซึ่งค่าปัจจัยดังกล่าวทำให้จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายนั้น มีค่าเท่ากับ -0.1008 ขึ้น โดยผลตอบนี้มีค่าความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 1.0000 จึงสรุปได้ว่าผลตอบสนองได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ เมื่อกำหนดระดับปัจจัย ดังนี้

- (1) กระแสไฟฟ้า 183.4343 แอมแปร์
- (2) แรงเคลื่อนไฟฟ้า 150.9091 โวลท์
- (3) อัตราการไหลของแก๊สคลุม 20.6566 ลิตร/นาทิจ

4.1.3.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายจากการเชื่อมโลหะของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

การควบคุมปัจจัยการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลง ปัจจุบันของบริษัท ทัศนศึกษา พนักงานกลุ่มที่มีพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็วจะทำการปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า อยู่ที่ 220 แอมแปร์, แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 180 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลุม เท่ากับ 25 ลิตร/นาทิจ ตามลำดับก่อนการเชื่อมโลหะ จากความเร็วในการเชื่อมโลหะของพนักงานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าปัจจัย

การเชื่อมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มพนักงานที่เชื่อมซ้ำ เพื่อให้ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีความสอดคล้องกัน และให้ได้ผลลัพธ์ออกมา คือ รอยเชื่อมที่มีคุณภาพตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

ในการวิเคราะห์การควบคุมปัจจัยวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้องของกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมเร็วในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญกำหนดค่าปรับตั้งที่ใช้งานในปัจจุบันของพนักงานเป็นค่าระดับกลาง และกำหนดขอบเขตการควบคุมปัจจัยปัจจุบันออกทั้งสองด้าน ด้านละเท่าๆ กันเป็นค่าระดับต่ำ และระดับสูง ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ระดับปัจจัยที่ใช้ทำการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนของกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมเร็ว

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	ระดับปัจจัย		
				ระดับต่ำ (-1)	ระดับกลาง (0)	ระดับสูง (+1)
1	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	Current	180	220	260
2	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลท์	Voltage	140	180	220
3	อัตราการไหลของแก๊สคลุม	ลิตร/นาที	Gas Flow	15	25	35

จากตารางที่ 24 โดยค่าควบคุมปัจจัยการเชื่อมโลหะที่ใช้ในการทดลองของกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมเร็วจะประกอบด้วยระดับปัจจัย 3 ระดับ ดังนี้

1. กระแสไฟฟ้า

- (1) ระดับต่ำ (-1) กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 180 แอมแปร์
- (2) ระดับกลาง (0) กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 220 แอมแปร์
- (3) ระดับสูง (+1) กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 260 แอมแปร์

2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า

- (1) ระดับต่ำ (-1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 140 โวลท์
- (2) ระดับกลาง (0) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 180 โวลท์
- (3) ระดับสูง (+1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 220 โวลท์

3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม

- (1) ระดับต่ำ (-1) อัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 15 ลิตร/นาที
- (2) ระดับกลาง (0) อัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 25 ลิตร/นาที
- (3) ระดับสูง (+1) อัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 35 ลิตร/นาที

การปรับค่าระดับปัจจัยการเชื่อมโลหะในการทดลองนี้ การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน จะประกอบไปด้วยปัจจัย 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะแบ่งได้ 3 ระดับ ทำให้ได้การทดลอง 15 การทดลอง โดยแต่ละการทดลองจะกระทำที่ระดับปัจจัยนั้นๆ ซ้ำจำนวน 5 ครั้ง จึงทำให้มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 75 ครั้ง ผู้วิจัยจะใช้ โปรแกรม Minitab ทำการสุ่มลำดับการทดลองอย่างสมบูรณ์ ตามแสดงในตารางที่ 25

หลังจากทำการทดลองตามระดับปัจจัยที่ได้จากการสุ่มครบทั้งหมด 75 การทดลองแล้วนั้น ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคนจะถูกบันทึกเก็บข้อมูลการทดลองไว้ ตามตารางที่ 26 และผู้วิจัยจะนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวสะท้อน (Response Surface Regression) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ต่อไป

ตารางที่ 25 ลำดับการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ของระดับปัจจัยการเชื่อมโลหะในกลุ่มพฤติกรรมเชื่อมเร็ว

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Current	Voltage	Gas Flow	Defect
62	1	2	1	260	140	25	
48	2	2	1	180	220	25	
30	3	0	1	220	180	25	
36	4	2	1	260	180	15	
44	5	0	1	220	180	25	
1	6	2	1	180	140	25	
35	7	2	1	180	180	15	
55	8	2	1	220	220	15	
15	9	0	1	220	180	25	
51	10	2	1	260	180	15	
38	11	2	1	260	180	35	
7	12	2	1	180	180	35	
47	13	2	1	260	140	25	
9	14	2	1	220	140	15	
22	15	2	1	180	180	35	
24	16	2	1	220	140	15	
12	17	2	1	220	220	35	
23	18	2	1	260	180	35	
37	19	2	1	180	180	35	
67	20	2	1	180	180	35	

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Current	Voltage	Gas Flow	Defect
71	21	2	1	220	140	35	
70	22	2	1	220	220	15	
66	23	2	1	260	180	15	
34	24	2	1	260	220	25	
41	25	2	1	220	140	35	
17	26	2	1	260	140	25	
61	27	2	1	180	140	25	
13	28	0	1	220	180	25	
56	29	2	1	220	140	35	
6	30	2	1	260	180	15	
63	31	2	1	180	220	25	
27	32	2	1	220	220	35	
8	33	2	1	260	180	35	
18	34	2	1	180	220	25	
21	35	2	1	260	180	15	
40	36	2	1	220	220	15	
32	37	2	1	260	140	25	
69	38	2	1	220	140	15	
26	39	2	1	220	140	35	
14	40	0	1	220	180	25	
68	41	2	1	260	180	35	
43	42	0	1	220	180	25	
57	43	2	1	220	220	35	
53	44	2	1	260	180	35	
42	45	2	1	220	220	35	
29	46	0	1	220	180	25	
54	47	2	1	220	140	15	
16	48	2	1	180	140	25	
39	49	2	1	220	140	15	
59	50	0	1	220	180	25	
65	51	2	1	180	180	15	
73	52	0	1	220	180	25	
10	53	2	1	220	220	15	

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Current	Voltage	Gas Flow	Defect
28	54	0	1	220	180	25	
11	55	2	1	220	140	35	
75	56	0	1	220	180	25	
5	57	2	1	180	180	15	
31	58	2	1	180	140	25	
72	59	2	1	220	220	35	
58	60	0	1	220	180	25	
33	61	2	1	180	220	25	
52	62	2	1	180	180	35	
25	63	2	1	220	220	15	
74	64	0	1	220	180	25	
45	65	0	1	220	180	25	
46	66	2	1	180	140	25	
4	67	2	1	260	220	25	
64	68	2	1	260	220	25	
2	69	2	1	260	140	25	
20	70	2	1	180	180	15	
3	71	2	1	180	220	25	
50	72	2	1	180	180	15	
19	73	2	1	260	220	25	
60	74	0	1	220	180	25	
49	75	2	1	260	220	25	

ตารางที่ 26 ผลการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับปัจจัย 3 ปัจจัยของกลุ่มพฤติกรรมกร
เชื่อมเร็ว

ลำดับการทดลอง มาตรฐาน	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊สคลุม (ลิตร/นาที)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง
1	180	140	25	4
2	180	180	15	5
3	180	180	35	5
4	180	220	25	4
5	220	140	15	5

ลำดับการทดลอง มาตรฐาน	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊สคลูม (ลิตร/นาที)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง
6	220	140	35	1
7	220	180	25	0
8	220	180	25	0
9	220	180	25	1
10	220	220	15	4
11	220	220	35	3
12	260	140	25	3
13	260	180	15	3
14	260	180	35	1
15	260	220	25	3

ตารางที่ 27 การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อนจากการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบนัน
เคนของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

Response Surface Regression						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	19.8687	4.48176	4.433	0.000		
Current	-0.0927	0.02809	-3.300	0.002		
Voltage	-0.0744	0.02495	-2.980	0.004		
Gas Flow	-0.1758	0.07897	-2.227	0.029		
Current*Current	0.0002	0.00006	3.673	0.000		
Voltage*Voltage	0.0002	0.00006	3.136	0.003		
Gas Flow*Gas Flow	-0.0029	0.00093	3.136	0.003		
Current*Voltage	-0.0000	0.00006	-0.000	1.000		
Current*Gas Flow	-0.0003	0.00022	-1.119	0.267		
Voltage*Gas Flow	0.0004	0.00022	1.678	0.098		
S = 0.399679		PRESS =		14.1510		
R-Sq = 43.81%		R-Sq(pred) =		23.43% R-Sq(adj) = 36.03%		
Analysis of Variance for Defect						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	8.0967	8.0967	0.89963	5.63	0.000
Linear	3	2.8500	2.8965	0.96550	6.04	0.001

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Current	1	1.6000	1.7398	1.73981	10.89	0.002
Voltage	1	0.0250	1.4189	1.41894	8.88	0.004
Gas Flow	1	1.2250	0.7919	0.79191	4.96	0.029
Square	3	4.5967	4.5967	1.53222	9.59	0.000
Current*Current	1	1.6800	2.1551	2.15513	13.49	0.000
Voltage*Voltage	1	1.3462	1.5705	1.57051	9.83	0.003
Gas Flow*Gas Flow	1	1.5705	1.5705	1.57051	9.83	0.003
Interaction	3	0.6500	0.6500	0.21667	1.36	0.264
Current*Voltage	1	0.0000	0.0000	0.00000	0.00	1.000
Current*Gas Flow	1	0.2000	0.2000	0.20000	1.25	0.267
Voltage*Gas Flow	1	0.4500	0.4500	0.45000	2.82	0.098
Residual Error	65	10.3833	10.3833	0.15974		
Lack-of-Fit	3	0.6500	0.6500	0.21667	1.38	0.257
Pure Error	62	9.7333	9.7333	0.15699		
Total	74	18.4800				

1.ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยในการทดลองกลุ่มพฤติกรรม การเชื่อมเร็ว ด้วยโปรแกรม Minitab

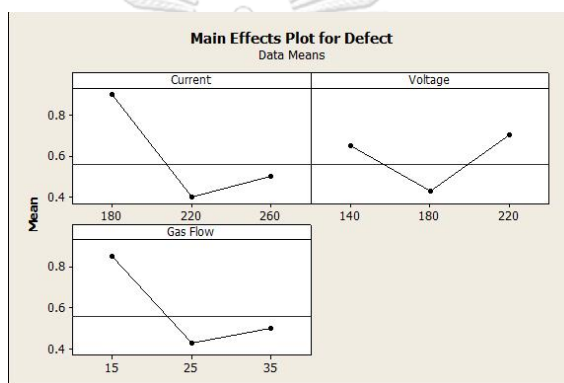
จากข้อมูลการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติตามตารางที่ 27 เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยในการทดลอง โดยแบ่งเป็นผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย พบว่า ปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่มีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) มีทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ

- (1) กระแสไฟฟ้า (Current)
- (2) แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)
- (3) อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow)

และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยในการทดลองที่มีผลกระทบของปัจจัยร่วม หรืออันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (Interaction Effects) ที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย พบว่า ไม่มีปัจจัยร่วมที่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ที่มีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ซึ่งผลกระทบของปัจจัยร่วมดังกล่าวยังไม่สามารถระบุได้ว่าแต่ละปัจจัยไม่มีผลกระทบ

ร่วมกันได้ต้องทำการพิจารณาร่วมกับข้อมูลการวิเคราะห์ใน Interaction Plot ที่จะกล่าวถึงในขั้นตอนต่อไป

ในการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effects) การวิเคราะห์การถดถอยของผิวสะท้อน อิทธิพลของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุมในการทดลองนี้ถือว่ามอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) น้อยมาก ผู้วิจัยจึงนำเอาข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติมาพิจารณา และวิเคราะห์ค่าระดับปัจจัย เพื่อใช้เป็นค่ากำหนดเบื้องต้นในการควบคุมปัจจัยการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ข้อมูล Main Effects Plot และ Interaction Plot จะแสดงในภาพที่ 35 และ 36 ตามลำดับ



ภาพที่ 35 Main Effects Plot การวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

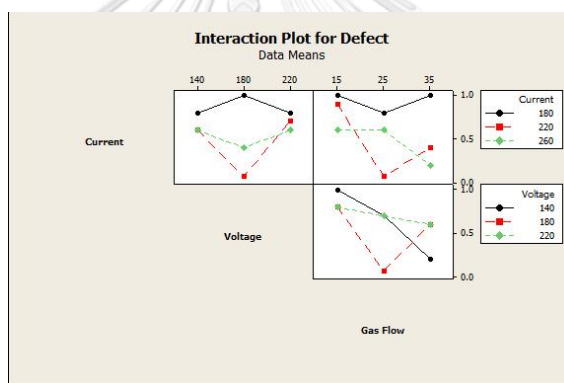
จากภาพที่ 35 Main Effects Plot เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ดังนี้

กระแสไฟฟ้า (Current) กราฟมีลักษณะชันลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่ากระแสไฟฟ้าเมื่อมีการปรับค่าที่ระดับต่ำ คือ 180 แอมแปร์ จะส่งผลให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับกลาง 220 แอมแปร์ และระดับสูง 260 แอมแปร์นั้น จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นค่ากระแสไฟฟ้าที่ 220 แอมแปร์ จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กราฟมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้จากกราฟว่า เมื่อปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในระดับต่ำที่ 140

โวลต์ และระดับสูง 220 โวลต์ จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่เพิ่มสูงขึ้น แต่เมื่อปรับค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในระดับกลาง 180 โวลต์จะทำให้จำนวนชิ้นงานบกพร่องลดลงได้ ดังนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 180 โวลต์จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) กราฟมีลักษณะชันลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมเมื่อมีการปรับค่าที่ระดับต่ำ คือ 15 ลิตร/นาที่ จะส่งผลให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่ และระดับสูง 35 ลิตร/นาที่นั้น จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดลงโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังนั้นค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมที่ระหว่าง 25 ลิตร/นาที่จะส่งผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 36 Interaction Plot การวิเคราะห์ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อ ค่า Defect (จำนวนชิ้นงานบกพร่อง) ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

จากภาพที่ 36 Interaction Plot เมื่อพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็วที่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ดังนี้

กระแสไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยกราฟแนวนอนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า กราฟแนวตั้งเป็นค่า Residual ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย และกราฟเส้นเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 180, 220 และ 260 แอมแปร์ จากลักษณะกราฟ พบว่า เส้นกราฟมีลักษณะไปในทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าที่ 180, 220 และ 260 แอมแปร์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าลดน้อยลงเมื่อใช้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าไว้ที่

ระดับกลาง 180 โวลต์ และในทางกลับกันเมื่อใช้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ระดับต่ำ 140 โวลต์ และระดับสูง 220 โวลต์ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

กระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม โดยกราฟแนวนอนเป็นอัตราการไหลของแก๊สคลุม กราฟแนวตั้งเป็นค่า Residual ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย และกราฟเส้นเป็นค่ากระแสไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 180, 220 และ 260 แอมแปร์ จากลักษณะกราฟ พบว่ากราฟทั้ง 3 มีลักษณะทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าที่ 180, 220 และ 260 แอมแปร์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าน้อยลงเมื่อปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมไว้ที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่ และในทางกลับกันเมื่อใช้ค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมที่ระดับต่ำ 15 ลิตร/นาที่ และระดับสูง 35 ลิตร/นาที่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม โดยกราฟแนวนอนเป็นอัตราการไหลของแก๊สคลุม กราฟแนวตั้งเป็นค่า Residual ของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย และกราฟเส้นเป็นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า 3 ระดับ คือ 140, 180 และ 220 โวลต์ จากลักษณะกราฟพบว่า กราฟทั้ง 3 มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ 140, 180 และ 220 โวลต์ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อปรับค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมไว้ที่ระดับต่ำ 15 ลิตร/นาที่ และในทางกลับกันเมื่อใช้ค่าอัตราการไหลของแก๊สคลุมที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที่ และระดับสูง 35 ลิตร/นาที่ ค่าเฉลี่ยของจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะมีค่าน้อยลง

2. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการทดลอง (Model Adequacy Checking)

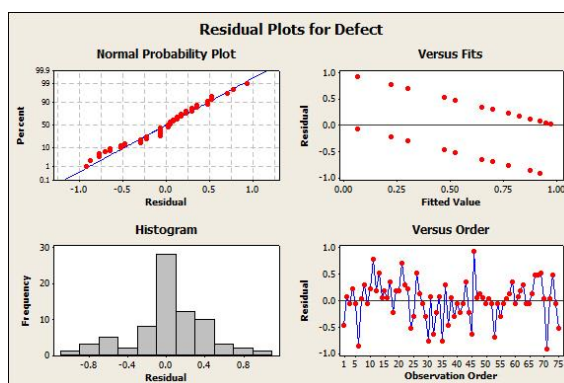
การตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองก่อนนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ และการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองจำเป็นต้องเป็นไปตามข้อสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ ซึ่งจะถือว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเหมาะสมสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป ดังนั้นสมมติฐานที่จะต้องตรวจสอบมีดังนี้

(1) การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล แบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง (Normal Distribution)

(2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independent)

(3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของส่วนตกค้าง (Variance Stability)

การตรวจสอบแบบจำลอง ทางผู้วิจัยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยมีลักษณะการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 37



ภาพที่ 37 Residual Plot ค่า Defect ที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ในกลุ่มพฤติกรรมการณ์
เชื่อมเร็ว

จากภาพที่ 37 จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ดังนี้

(1) การตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง (Normal Distribution) จากข้อมูลกราฟ Normal Probability Plot ตรวจสอบค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยจากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีความเป็นอิสระต่อกัน นั่นคือ ค่าส่วนตกค้างของข้อมูลจากการทดลองของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแอสซีเสียหายไม่แสดงความผิดปกติ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

(2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของข้อมูล จากข้อมูลกราฟ Versus Order โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัว (Scatter Plot) ของค่าส่วนตกค้างว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอย่างอิสระหรือไม่ เมื่อพิจารณาจัดเรียงค่าส่วนตกค้างเรียงตามลำดับการทดลอง และดูลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล ข้อมูลค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ และมีการกระจายตัวของข้อมูลทั้ง 2 ด้าน คือ ด้านบน และด้านล่างที่สม่ำเสมอ โดยไม่มีรูปแบบไปด้านใดด้านหนึ่ง แสดงให้เห็นถึงความเป็นอิสระของข้อมูล จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างของข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

(3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล (Variance Stability) จากข้อมูลกราฟ Versus Fits โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างแต่ละปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ ปัจจัยกระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุมว่า

ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่ เมื่อพิจารณาการจัดเรียงตัวของค่าส่วนตกค้าง พบว่ามีลักษณะการกระจายตัวสม่ำเสมอทั้งทางบวก และทางลบ ไม่มีลักษณะกราฟที่ลู่เข้า หรือลู่ออก ทั้ง 3 ปัจจัย ซึ่งหมายความว่าข้อมูลดังกล่าวไม่มีความแตกต่างในความแปรปรวน หรือมีความเสถียรของความแปรปรวนทั้ง 3 ปัจจัย

3. การสร้างสมการทำนาย

หลังจากทำการทดลอง ผลการทดลองที่ได้จะถูกทำการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวตอบสนอง(Response Surface Regression) ดังแสดงในตารางที่ 27 โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) ของปัจจัยไปเขียนเป็นสมการทำนายของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแฮกซีเสียหาย เพื่อนำสมการทำนายดังกล่าวไปใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ซึ่งสมการทำนายที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวตอบสนองจะแสดงในสมการที่ 4.2

$$\begin{aligned} \text{Defect} = & 19.8687 - 0.0927(\text{Current}) - 0.0744(\text{Voltage}) - 0.1758(\text{Gas Flow}) \\ & + 0.0002(\text{Current} * \text{Current}) + 0.0002(\text{Voltage} * \text{Voltage}) \\ & + 0.0029(\text{Gas Flow} * \text{Gas Flow}) + 0.0003(\text{Current} * \text{Gas Flow}) \\ & + 0.0004(\text{Voltage} * \text{Gas Flow}) \end{aligned} \quad (4.2)$$

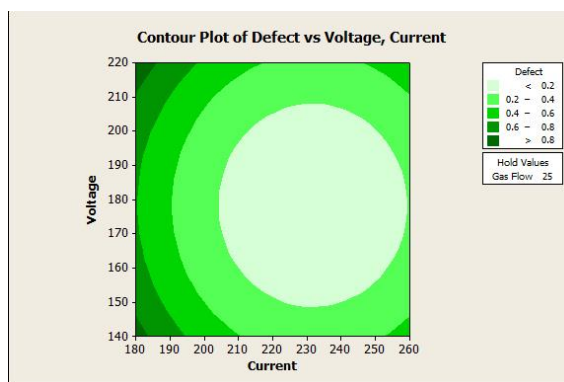
4. การสร้างกราฟโครงร่าง พื้นผิวผลตอบ และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อได้สมการทำนายของจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแฮกซีเสียหายมาแล้วต่อไป จะนำมาสร้างกราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบ เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแฮกซีเสียหาย ได้แก่ กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลูม

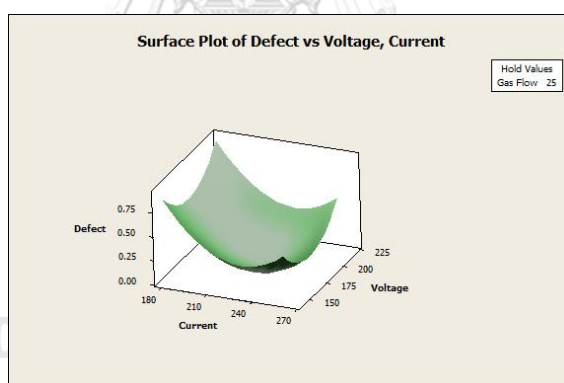
(1) กราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

จากกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ตามภาพที่ 38 โดยกำหนดตำแหน่งของปัจจัยอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) ไว้ที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะลดน้อยลงเมื่อกระแสไฟฟ้าอยู่ในระดับสูง ช่วง 210-250 แอมแปร์ และแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในระดับกลาง ช่วง 150-200 โวลท์ กราฟโครงร่างจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) เส้นโค้งริมด้านขวาของกราฟจะแสดงถึงค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแฮกซีเสียหาย (Defect) เท่ากับ 0.2 และเส้นโค้งถัดมาจะแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นคือ <0.2, 0.4, 0.6 และ >0.8 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นผิวผลตอบของปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มาแสดงในลักษณะ

กราฟโครงร่าง และกำหนดระดับตำแหน่งของปัจจัยอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) ไว้ที่ระดับกลาง 25 ลิตร/นาที จะเห็นความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลตอบดังในรูปที่ 39 ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) พบว่า จุดที่มีค่าต่ำสุดของค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีแนวโน้ม และทิศทางไปในแนวเดียวกันกับกราฟโครงร่าง



ภาพที่ 38 กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

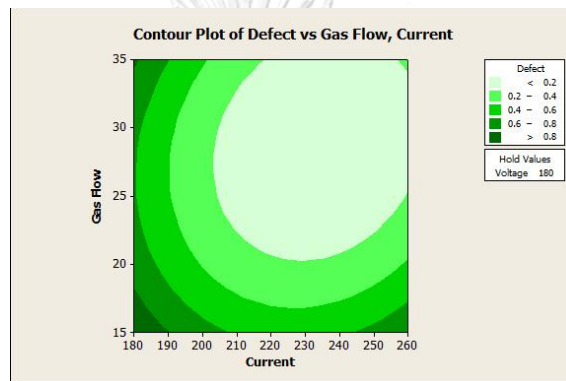


ภาพที่ 39 ผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)

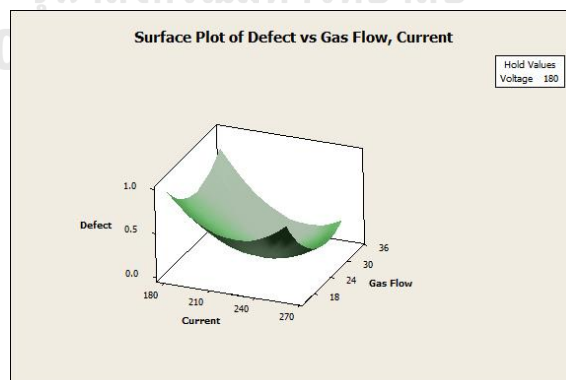
(2) กราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)

จากกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) ตามภาพที่ 40 โดยกำหนดตำแหน่งของปัจจัยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ไว้ที่ระดับกลาง 180 โวลต์ ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะลดน้อยลงเมื่อกระแสไฟฟ้าอยู่ในระดับสูง ช่วง 210-260 แอมแปร์ และอัตราการไหลของแก๊สคลูมอยู่ในระดับสูง

ช่วง 25-25 ลิตร/นาที่ กราฟโครงร่างจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) เส้นโค้งริมด้านขวาของกราฟจะแสดงถึงค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย (Defect) เท่ากับ 0.2 และเส้นโค้งถัดมาจะแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นคือ <math><0.2</math>, 0.4, 0.6 และ >0.8 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นผิวผลตอบของปัจจัยร่วมระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มาแสดงในลักษณะกราฟโครงร่าง และกำหนดระดับตำแหน่งของปัจจัยแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) ไว้ที่ระดับกลาง 180 โวลท์ จะเห็นความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลตอบดังในรูปที่ 41 ระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับอัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) พบว่า จุดที่มีค่าต่ำสุดของค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีแนวโน้ม และทิศทางไปในแนวเดียวกันกับกราฟโครงร่าง



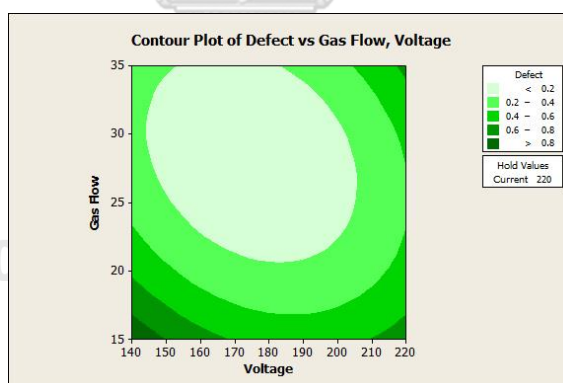
ภาพที่ 40 กราฟโครงร่างระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow)



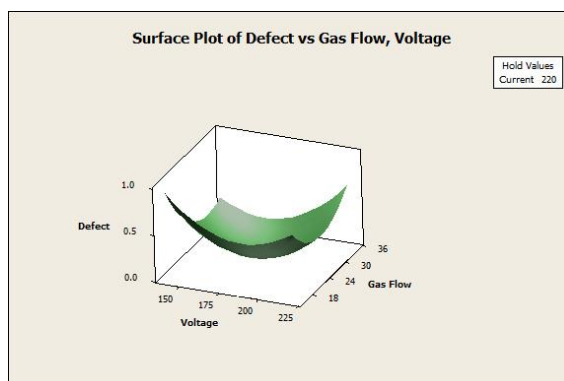
ภาพที่ 41 พื้นผิวผลตอบระหว่างกระแสไฟฟ้า (Current) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow)

(3) กราฟโครงร่าง และพื้นผิวผลตอบระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)

จากกราฟโครงร่าง (Contour Plot) ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) ตามภาพที่ 42 โดยกำหนดตำแหน่งของปัจจัยกระแสไฟฟ้า (Current) ไว้ที่ระดับกลาง 220 แอมแปร์ ซึ่งจะเห็นว่าค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องจะลดน้อยลงเมื่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำ ช่วง 150-200 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลูมอยู่ในระดับสูง ช่วง 25-35 ลิตร/นาที กราฟโครงร่างจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง (Non Linear Effect) เส้นโค้งริมด้านซ้ายของกราฟจะแสดงถึงค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย (Defect) เท่ากับ 0.2 และเส้นโค้งถัดมาจะแสดงค่าที่เพิ่มขึ้นคือ <math><0.2, 0.4, 0.6</math> และ >0.8 ตามลำดับ เมื่อนำพื้นผิวผลตอบของปัจจัยร่วมระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) มาแสดงในลักษณะกราฟโครงร่าง และกำหนดระดับตำแหน่งของปัจจัยกระแสไฟฟ้า (Current) ไว้ที่ระดับกลาง 220 แอมแปร์ จะเห็นความสัมพันธ์ของพื้นผิวผลตอบดังในรูปที่ 43 ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับอัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow) พบว่า จุดที่มีค่าต่ำสุดของค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายมีแนวโน้ม และทิศทางไปในแนวเดียวกันกับกราฟโครงร่าง



ภาพที่ 42 กราฟโครงร่างระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)



ภาพที่ 43 พื้นผิวผลตอบระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) กับ อัตราการไหลของแก๊สคลูม (Gas Flow)

5. การหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

หลังจากที่ได้สมการทำนายค่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายไปแล้ว นั้น ในขั้นตอนนี้จะกำหนดขอบเขตของผลตอบ (Goal), ค่าต่ำสุด (Lower), ค่าเป้าหมาย (Target) และค่าสูงสุด (Upper) รวมถึงกำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) และค่าความสำคัญของผลตอบ (Importance) โดยทั้งสองค่าดังกล่าวจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-10 ดังตารางที่ 28

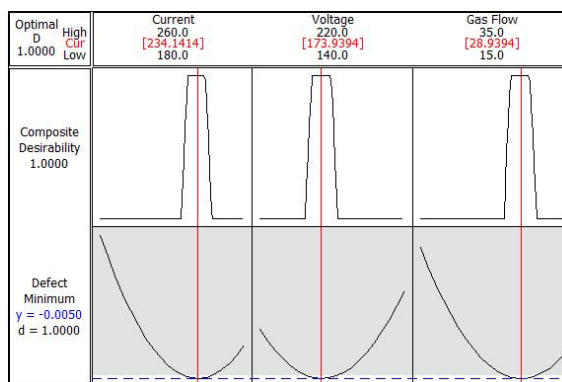
ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย ผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab ดังแสดงในรูปที่ 44 ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability : D) ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยค่า D เท่ากับ 1 นั่นคือ ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

ตารางที่ 28 การกำหนดขอบเขตของผลตอบ โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab

Response Optimization						
Parameters	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Defect	Minimum	0	0	0.01	1	1

จากตารางที่ 28 ผู้วิจัยกำหนดค่าผลตอบ (Goal) ให้ได้ค่าในระดับต่ำสุด (Minimize), ค่าต่ำสุด (Lower) เท่ากับ 0 , ค่าเป้าหมาย (Target) เท่ากับ 0 และค่าสูงสุด (Upper) เท่ากับ 0.01 เนื่องจากผู้วิจัยไม่ต้องการให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่อง เพื่อให้เกิดจำนวนชิ้นงาน

บกพร่องน้อยที่สุด โดยในงานวิจัยฉบับนี้ ทางผู้วิจัยจะใส่ค่าน้ำหนัก และค่าความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 1 เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้ผลตอบที่ได้นั้นอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ และมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด



ภาพที่ 44 ค่าปัจจัยที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์โดยฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab

จากภาพที่ 44 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากฟังก์ชัน Response Optimizer พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมโลหะของกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก คือ กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 234.1414 แอมแปร์, แรงเคลื่อนไฟฟ้าเท่ากับ 173.9394 โวลท์ และอัตราการไหลของแก๊สคลุมเท่ากับ 28.9394 ลิตร/นาที ซึ่งค่าปัจจัยดังกล่าวทำให้จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายนั้น มีค่าเท่ากับ -0.0050 ขึ้น โดยผลตอบมีค่าความพึงพอใจโดยรวมเท่ากับ 1.0000 จึงสรุปได้ว่าผลตอบสนองได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ เมื่อกำหนดระดับปัจจัย ดังนี้

- (1) กระแสไฟฟ้า 234.1414 แอมแปร์
- (2) แรงเคลื่อนไฟฟ้า 173.9394 โวลท์
- (3) อัตราการไหลของแก๊สคลุม 28.9394 ลิตร/นาที

จากการทดลอง เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยอย่าง กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ของพนักงานเชื่อมโลหะภายในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุกในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว จะเห็นได้ว่าค่าปัจจัยมีความแตกต่างกันตามพฤติกรรมกรรมการเชื่อมของพนักงาน และเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของพนักงานค่าปัจจัย จึงต้องปรับแก้ไขให้สามารถปรับใช้งานได้จริงในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก ดังแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 การปรับค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	กลุ่มเชื่อมช้า		กลุ่มเชื่อมเร็ว	
			ค่าจากการทดลอง	ค่าปรับแก้ไข	ค่าจากการทดลอง	ค่าปรับแก้ไข
1	กระแสไฟฟ้า	แอมแปร์	183.4343	185	234.1414	235
2	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลท์	150.9091	150	173.9394	175
3	อัตราการไหลของแก๊สคลุม	ลิตร/นาที	20.6566	20	28.9394	30

จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามพฤติกรรมของพนักงานเชื่อมโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 29 จะเห็นได้ว่า พนักงานเชื่อมที่มีพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็วจะมีค่าปัจจัยการเชื่อมที่สูงกว่ากลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า เนื่องจากความเร็วในการเชื่อมจะมีความสัมพันธ์กับปัจจัยการเชื่อมอื่นๆ นั่นคือ พฤติกรรมการเชื่อมที่เร็วจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าที่สูง เพื่อทำการหลอมละลายลวดเชื่อมและแผ่นโลหะที่ทำงานเชื่อมประสานให้ทันต่อความเร็วในการเดินแนวเชื่อม และมีระยะซึมลึกได้ตามระยะที่กำหนด แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น และสอดคล้องกับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจะช่วยให้รอยเชื่อมมีลักษณะเรียบเนียน เป็นแนวเส้นเชื่อมต่อเนื่องไม่ขรุขระ รอยเชื่อมสม่ำเสมอ และอัตราการไหลของแก๊สคลุมที่มากคลุมแนวเชื่อม เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าปะปน และเกิดฟองอากาศในแนวเชื่อม ซึ่งจะเห็นได้ว่านอกจากปัจจัยการเชื่อมจากการทดลองอย่าง กระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุมแล้วนั้น ปัจจัยในส่วนความเร็วในการเดินแนวเชื่อม หรือพฤติกรรมกรรมการเชื่อมของพนักงานก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อคุณภาพงานเชื่อมด้วย ดังนั้นเพื่อเป็นการยืนยันค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองระหว่างกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจึงทำการทดลอง เพื่อยืนยันค่าปัจจัยดังกล่าว โดยรายละเอียดจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ จะเป็นขั้นตอนที่ผู้วิจัยจะทำการทดลองเปรียบเทียบค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา กับค่าปัจจัยที่พนักงานใช้งานในปัจจุบัน เพื่อยืนยันผลการทดลองถึงจำนวนชิ้นงานบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการ

4.2.1 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง (Confirmation Experiments)

การทดลอง เพื่อยืนยันผลการทดลองเป็นการทดลอง โดยนำค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองโดยการวิเคราะห์ของฟังก์ชัน Response Optimizer ของโปรแกรม Minitab มาทำการทดลองใน

กระบวนการเชื่อมโลหะ ของงานดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อตรวจสอบจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย โดยทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างค่าปัจจุบันที่พนักงานกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมเร็วใช้งาน กับค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 30 และ 31 ตามลำดับ โดยดูจากสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมโลหะ

ตารางที่ 30 ค่าปัจจัยที่ใช้ในการทดลองยืนยันผลการทดลองของกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมช้า

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	กลุ่มเชื่อมช้า	
			ค่าปัจจุบัน	ค่าการทดลอง
1	กระแสไฟฟ้า	แอมป์	200	185
2	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลท์	140	150
3	อัตราการไหลของแก๊สคลุม	ลิตร/นาที	25	20

ตารางที่ 31 ค่าปัจจัยที่ใช้ในการทดลองยืนยันผลการทดลองของกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมเร็ว

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	กลุ่มเชื่อมเร็ว	
			ค่าปัจจุบัน	ค่าการทดลอง
1	กระแสไฟฟ้า	แอมป์	220	235
2	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลท์	180	175
3	อัตราการไหลของแก๊สคลุม	ลิตร/นาที	25	30

การทดลองโดยใช้ค่าปัจจัยที่กำหนดทำการทดลอง และเก็บบันทึกข้อมูลการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อม ที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาประเภทแซสซีเสียหาย ก่อน และหลังการปรับปรุง ในกลุ่มพนักงานพฤติกรรมกรเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรเชื่อมเร็ว การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองนี้ ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญกำหนดใช้จำนวนการผลิตชิ้นงานการเชื่อมต่อปลายแซสซี 25 ชิ้นงานต่อกระบวนการ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องวัสดุในกระบวนการ และกำหนดให้พนักงานตรวจสอบทำการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมตามข้อกำหนดตามเกณฑ์มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ มาตรฐาน AWS D/1.1D2006:1.1 (American Welding Society) โดยข้อมูลการทดลองงานเชื่อมโลหะจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณีตามพฤติกรรมกรเชื่อมของพนักงาน ซึ่งค่าที่ใช้ในการทดลองจะเป็นการเปรียบเทียบค่าที่พนักงานใช้ในปัจจุบัน และค่าที่ได้จากการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 30 และ 31 ตามลำดับ และผลการทดลองจะถูกเก็บบันทึกในตารางที่ 32

ตารางที่ 32 ข้อมูลการทดลองเปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานบกพร่องก่อน และหลังการปรับปรุงใน
กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

กระบวนการ	จำนวนการผลิต (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง (ชิ้น)	สัดส่วนจำนวน ชิ้นงานบกพร่อง
กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า			
ก่อนปรับปรุง	25	15	0.60
หลังปรับปรุง	25	3	0.12
กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว			
ก่อนปรับปรุง	25	18	0.72
หลังปรับปรุง	25	5	0.20

จากการทดลองปัจจัยการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุกในบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการทดลองประกอบด้วยกระแสไฟฟ้า, แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม โดยการทดลองจะพิจารณาเป็นกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมของพนักงาน จากจำนวนชิ้นงาน 25 ชิ้น พบว่า ในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้าก่อนการปรับปรุงมีจำนวนชิ้นงานบกพร่องเกิดขึ้น 15 ชิ้นเทียบเป็นสัดส่วนชิ้นงานบกพร่อง 0.60 และหลังการปรับปรุงจำนวนชิ้นงานบกพร่อง 3 ชิ้น สัดส่วนอยู่ที่ 0.12 ซึ่งลดลง 0.48 และในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็วก่อนการปรับปรุงมีจำนวนชิ้นงานบกพร่องเกิดขึ้น 18 ชิ้นเทียบเป็นสัดส่วนชิ้นงานบกพร่อง 0.72 และหลังการปรับปรุงจำนวนชิ้นงานบกพร่อง 5 ชิ้นสัดส่วนอยู่ที่ 0.20 ซึ่งลดลง 0.52

ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนชิ้นงานบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดทั้งในกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า และพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว จากการกำหนดค่าปัจจัยการเชื่อมตามตารางที่ 30 และ 31 ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองดังกล่าวสามารถใช้ควบคุมการทำงานในกระบวนการเชื่อมโลหะ โดยสามารถลดจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายในกระบวนการเชื่อมโลหะงานตัดแปลงรถบรรทุกลงได้

4.3 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase)

ขั้นตอนการติดตามควบคุมการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลงรถบรรทุก หลังจากผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญได้ทำการทดลองการปรับปรุงปัจจัยการเชื่อมโลหะที่ก่อให้เกิดชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย โดยผลจากการทดลองพบว่า การปรับค่าปัจจัยการเชื่อมดังกล่าวทำให้เกิดสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่อง 0.12 ลดลงจากเดิม 0.48 ของกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว สัดส่วนที่ 0.20 ซึ่งลดลง 0.52 จากเดิม

ขั้นตอนนี้ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญต้องการกำหนดวิธีการปฏิบัติงานของพนักงาน โดยให้พนักงานปฏิบัติงานตามที่กำหนดไว้ในกระบวนการเชื่อมโลหะ และค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะที่ได้ยืนยันจากการทดลองแล้วว่าเป็นค่าปัจจัยที่มีค่าเหมาะสมในการเชื่อมโลหะในกระบวนการตัดแปลงภายใต้การควบคุม เพื่อให้กระบวนการเชื่อมโลหะมีจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายลดลง สร้างคุณภาพของชิ้นงาน และแบบแผนการทำงานที่ถูกต้อง โดยมีการกำหนดการปฏิบัติงาน และปัจจัย ดังนี้

4.3.1 วิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)

การปฏิบัติงานจะถูกแบ่งออกเป็น 3 วิธี ดังนี้

4.3.1.1 วิธีการตรวจสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม การตรวจสอบวัสดุนั้นเป็นการตรวจสอบก่อนการปฏิบัติงานเชื่อม โดยการตรวจสอบคุณสมบัติ หรือชนิดของวัสดุ อย่างเช่น เหล็กที่จะมาทำการต่อปลายแซสซี ลวดเชื่อม แก๊สคลุม เป็นต้น และความสะอาดของวัสดุ เพื่อเตรียมพร้อมก่อนงานเชื่อมโลหะ ดังแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ขั้นตอนการปฏิบัติงานตรวจสอบวัสดุก่อนการเชื่อมโลหะ

ลำดับ	รายละเอียด	การตรวจสอบ	การควบคุม	การประเมิน	
				ถูกต้อง	ต้องแก้ไข
1	เหล็กต่อแซสซี	คุณลักษณะ	เหล็กตัวซี "[ขนาด 275x80x9 มม.		
		เกรดวัสดุ	SS400		
		ลักษณะ	ปลายบาก 45 องศา รอบด้าน ไม่มีรอยแตก และคราบสนิม		
2	ลวดเชื่อม	คุณลักษณะ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม.		
		มาตรฐาน	AWS A5.28 ER80S-G		
		การเชื่อม	การเชื่อมมิก/แม็ก (MIG/MAG) หรือ กระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม		
		ลักษณะ	ลวดเชื่อมเป็นของใหม่ ไม่ใช่ของเก่า หรือ มีรอยตำหนิ		
3	แก๊สคลุม	คุณลักษณะ	CO ₂		

4.3.1.2 วิธีการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ การตรวจสอบอ้างอิงวิธีการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งการตรวจสอบเป็นการตรวจสอบรอย

เชื่อมด้วยสายตา โดยคัดแยกชิ้นงานระหว่างชิ้นงานดี และชิ้นงานบกพร่อง ชิ้นงานบกพร่องจะถูกคัดแยกออก เพื่อทำการแก้ไข และตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมอีกครั้งจนผ่านตามข้อกำหนด ก่อนที่จะปล่อยชิ้นงานออกไปให้ โดยวิธีการตรวจสอบจะมีขั้นตอนตามตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ขั้นตอนการปฏิบัติงานตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ

ลำดับ	ประเภทรอยบกพร่อง	รายละเอียด	เกณฑ์การพิจารณายอมรับ
1	รอยแตก (Crack)	รอยแตกทุกชนิด	ไม่อนุญาตให้มี
2	รูพรุน (Porosity)	รอยเชื่อมต่อชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
3	หน้าตัดจุดหยุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ทุกหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมจะต้องเติมแนวเชื่อมให้เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุ	หน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมต้องเติมแนวเชื่อมให้เต็ม
4	รอยกัดแหง (Undercut)	ความหนาโลหะงานน้อยกว่า 25 มม.	ความลึกของรอยกัดแหงไม่เกิน 1 มม. หรือ ไม่เกิน 2 มม. และความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหงลึกรวมกันไม่เกิน 50 มม. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 มม.
5	รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersized Weld)	1. รอยเชื่อมทุกกรณี	รอยเชื่อมที่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด
		2. กำหนดขนาดรอยเชื่อมระบุ > 8 มม.	ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม.
6	รอยนูน (Convexity)	กำหนดความกว้างของรอยเชื่อม (Width of Weld Face : W)	$8 < W < 25$ มม.
			ระย่นูนไม่เกิน 3 มม.
7	รอยเกย (Overlap)	สำหรับรอยเชื่อมมุม และรอยเชื่อมชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
8	หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	สำหรับรอยเชื่อมมุม	ไม่อนุญาตให้มี
9	โลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	โลหะเชื่อมส่วนเกินทั้งกรณีโลหะงานความหนาเท่ากัน หรือโลหะงานความหนาต่างกัน	ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกินไม่เกิน 3 มม.
10	โลหะเชื่อมไม่เต็ม (Underfill)	รอยเชื่อมไม่เต็มสำหรับการเชื่อมต่อชนแบบบากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
11	ความเรียบของผิวรอยเชื่อม (Flush Surface)	สำหรับรอยเชื่อมแบบต่อชนบากร่อง การขัดผิวรอยเชื่อมให้เรียบเสมอโลหะงานต้องมีเงื่อนไข ดังนี้	
		1. ความหนารอยเชื่อมภายหลังการขัดผิว และความหนาของโลหะงานภายหลังการขัดผิว	ไม่น้อยกว่าความหนาของโลหะงานที่บางกว่าไม่เกิน 1 มม.

ลำดับ	ประเภทรอยบกพร่อง	รายละเอียด	เกณฑ์การพิจารณายอมรับ
11	ความเรียบของ ผิวรอยเชื่อม (Flush Surface)	2. ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	ไม่เกิน 1 มม.
12	การแต่งผิวรอยเชื่อม (Surface Finishing)	ขีดผิวในทิศทางใดก็ได้	ความหยาบน้อยกว่า 3.2 ไมครอน

4.3.1.3 วิธีการปฏิบัติในการเชื่อม เป็นการกำหนดค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะ โดยพนักงานจำเป็นต้องทำการปรับตั้งค่าปัจจัยให้ถูกต้องตามพฤติกรรมของการเชื่อมของตัวพนักงาน ซึ่งค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะที่ได้จากการทดลองนั้นถือเป็นแนวทางในการทำงาน โดยในการทำงานจริงหน้างานยังมีปัจจัยอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องตามที่ได้วิเคราะห์ในบทที่ 3 ซึ่งเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยาก ดังนั้นผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญจึงกำหนดเป็นช่วงค่าปัจจัยที่ใช้ในการทำงาน โดยมีการกำหนดตามตารางที่ 35

ตารางที่ 35 ขั้นตอนการปฏิบัติงานกำหนดค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะ

ลำดับ	ปัจจัย	หน่วย	กลุ่มพฤติกรรมเชื่อม	
			เชื่อมช้า	เชื่อมเร็ว
1	กระแสไฟฟ้า	แอมป์	180-185	230-235
2	แรงเคลื่อนไฟฟ้า	โวลท์	150-155	170-175
3	อัตราการไหลของแก๊สคลุม	ลิตร/นาที่	20-25	25-30

นอกจากเอกสารแสดงวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นเอกสารแสดงรายละเอียดงาน เพื่อใช้แจ้งขั้นตอนการปฏิบัติงานในลักษณะที่ถูกต้อง แล้วยังมีแผนการปฏิบัติงาน เพื่อใช้ควบคุมคุณภาพของส่วนงานเชื่อมโลหะ เป็นการตรวจสอบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อมเกิดขึ้นมา และไม่ให้มีข้อบกพร่องหลุดไปหาลูกค้า รวมถึงเป็นการพัฒนาศักยภาพของพนักงาน ผู้ปฏิบัติงานให้มีทักษะ ความสามารถในการเชื่อมโลหะ และเกิดเป็นความเชี่ยวชาญ ส่งผลให้สามารถลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องในคุณภาพรอยเชื่อมลงได้

4.3.2 แผนการปฏิบัติงาน (Work Schedule)

แผนปฏิบัติงานเป็นแผนงาน ที่ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญ ร่างแบบไว้ เพื่อชี้แจงให้หน่วยงาน ที่เกี่ยวข้องดำเนินการปฏิบัติงานตามแบบแผนนี้ เพื่อเป็นการพัฒนาการทำงาน พัฒนาทักษะ และพัฒนาฝีมือของพนักงานให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีความรู้ ความเข้าใจในส่วนงาน

เชื่อมโลหะ และการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมที่ถูกต้อง และเกิดเป็นมาตรฐานการทำงานที่สามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เป้าหมายกำหนด โดยแผนงานจะเป็นการอบรมพนักงาน และประเมินความสามารถทั้งพนักงานใหม่ และพนักงานที่ทำงานอยู่ในปัจจุบัน ตามแบบแผนที่แสดงในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 แผนการปฏิบัติงาน เพื่อการปรับปรุงกระบวนการทำงาน

กระบวนการ	ส่วนประกอบของกระบวนการ	ความถี่	ผู้รับผิดชอบ
การฝึกอบรม	การฝึกอบรมสำหรับพนักงานใหม่	ทุกครั้งที่มีพนักงานใหม่	หัวหน้าฝ่ายบุคคล
	การอบรมระบบการทำงานสำหรับพนักงาน	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายบุคคล
	การอบรมวิธีการเชื่อมโลหะ	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายผลิต
	การอบรมขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายควบคุมคุณภาพ
	การประเมินทักษะการทำงาน	2 ครั้ง/ปี	หัวหน้าฝ่ายบุคคล
การตรวจสอบชิ้นงาน	การตรวจสอบลักษณะวัสดุก่อนงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงานตรวจสอบ
	การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานระหว่างงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงานตรวจสอบ
	การตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานหลังงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงานตรวจสอบ
การควบคุมคุณภาพ	ขั้นตอนการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อม	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงานปฏิบัติงาน
	การปรับตั้งค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะ	ทุกครั้งของการทำงาน	พนักงานปฏิบัติงาน

จากการกำหนดวิธีการปฏิบัติงาน และปรับค่าปัจจัยการเชื่อมข้างต้น เมื่อนำมาใช้ในการปฏิบัติงานในกระบวนการดัดแปลงรถบรรทุกของบริษัทกรณีศึกษา ส่วนงานเชื่อมต่อปลายแชสซี โดยผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญได้ทำการเก็บบันทึกข้อมูลในเดือน กันยายน ปี พ.ศ. 2561 สำหรับข้อมูลกลุ่มพนักงานที่มีพฤติกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพนักงานที่มีพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว เพื่อทำการควบคุมโดยจัดทำเป็นแผนภาพควบคุม (Control Chart) มาใช้ควบคุม และติดตามชิ้นงานบกพร่องที่เสี่ยงเกิดข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย โดยให้พนักงานเชื่อมโลหะปฏิบัติตามวิธีการ

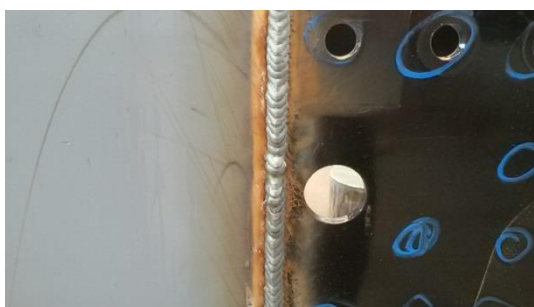
ปฏิบัติงาน และปรับค่าปัจจัยตามกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อม และให้พนักงานตรวจสอบทำการตรวจสอบ
 ชีงงานตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด แล้วบันทึกจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย ซึ่ง
 จากนั้นผู้วิจัยจะนำข้อมูลมาแสดงในแผนภูมิควบคุมคุณภาพ เพื่อใช้ตรวจสอบ และติดตาม
 กระบวนการเชื่อมโลหะถึงความผิดปกติ หรือแนวโน้มการเกิดชิ้นงานบกพร่องในกระบวนการเชื่อม
 โลหะ จากข้อมูลที่เก็บบันทึกของพนักงานดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 จำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายที่เกิดขึ้นหลังการปรับปรุง ในช่วงเดือน
 กันยายน ปี พ.ศ. 2561

การผลิต	วันที่	จำนวนการ ผลิต (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานบกพร่อง (ชิ้น)	สัดส่วนชิ้นงาน บกพร่อง
เดือน กันยายน 2561	2	5	0	0.00
	3	10	1	0.10
	4	9	2	0.22
	5	10	1	0.10
	6	5	0	0.00
	9	5	0	0.00
	10	2	0	0.00
	11	10	3	0.30
	12	5	2	0.40
	13	8	1	0.13
	16	7	1	0.14
	17	10	3	0.30
	18	10	3	0.30
	19	8	0	0.00
	20	15	1	0.07
	23	5	1	0.20
	24	5	2	0.40
	25	5	1	0.20
	26	4	0	0.00
	27	3	1	0.33
30	3	0	0.00	
รวม		144	23	3.19
ค่าเฉลี่ย		6.86	1.10	0.15
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				0.14

จากข้อมูลในตารางที่ 37 เป็นการเก็บข้อมูลจำนวนชิ้นงานบกพร่องที่เกิดขึ้นในส่วนงานเชื่อมต่อปลายแซสซี หลังการปรับปรุงกระบวนการ และกำหนดวิธีการปฏิบัติงานจากข้อมูลการผลิตในเดือน กันยายน ปี พ.ศ. 2561 มีจำนวนการผลิตทั้งสิ้น 144 ชิ้นงาน โดยเกิดชิ้นงานบกพร่องที่ไม่ผ่านตามข้อกำหนดการตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมจำนวน 23 ชิ้น คิดเป็นสัดส่วนชิ้นงานบกพร่องที่ 0.16 หรือ 16 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานบกพร่องจะมีลักษณะ ดังนี้

1. รอยเชื่อมไม่สม่ำเสมอ ดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 ลักษณะแนวรอยเชื่อมไม่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดแนว

2. รอยเชื่อมมีสะเก็ดโลหะฝังตัวในแนวเชื่อม ดังภาพที่ 46



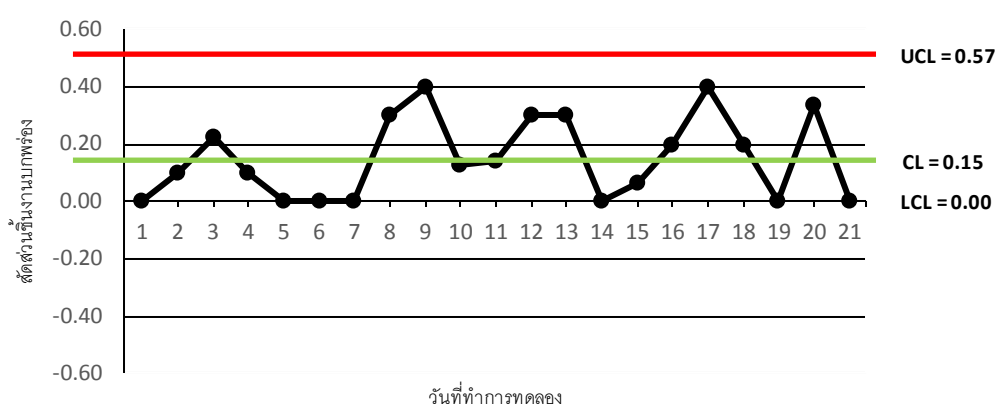
ภาพที่ 46 เกิดสะเก็ดเม็ดโลหะรอบข้างแนวเชื่อม

3. ลักษณะแหงที่จุดหยุดรอยเชื่อม ดังภาพที่ 47



ภาพที่ 47 จุดหยุดรอยเชื่อมมีลักษณะแหง

จากข้อมูลในตารางที่ 37 ผู้วิจัยสามารถสร้างเป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพ (Quality Control Chart) เพื่อใช้ตรวจสอบจำนวนการเกิดชิ้นงานบกพร่องในกลุ่มประเภทแชสซีเสียหายว่าอยู่ในการควบคุมหรือไม่ จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Excel ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายเท่ากับ 0.15 (CL) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เท่ากับ 0.14 จากนั้นผู้วิจัยนำเอาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่อง และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาคำนวณค่าควบคุมบน (UCL หรือ $CL+3\sigma$) จะได้เท่ากับ 0.57 ส่วนค่าควบคุมล่าง (LCL) กำหนดให้เท่ากับ 0.00 ดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 48 แผนภูมิควบคุมคุณภาพสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย

จากแผนภูมิควบคุมคุณภาพในภาพที่ 48 ผู้วิจัยจะใช้แผนภูมิดังกล่าวในการควบคุมคุณภาพของการผลิตชิ้นงานของพนักงานเชื่อม โดยผ่านการตรวจสอบชิ้นงานของพนักงานตรวจสอบคุณภาพ โดยกำหนดให้ในแต่ละเดือนของการผลิตจะต้องมีสัดส่วนชิ้นงานบกพร่องได้ไม่เกิน 0.57 ของจำนวนชิ้นงานที่ผลิตทั้งหมด เพื่อลดความเสี่ยงในการส่งชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพให้แก่ลูกค้า ลดต้นทุนในการแก้ไขชิ้นงานซ้ำแต่ละครั้งหลังตรวจพบข้อบกพร่อง ลดระยะเวลาทำงานของพนักงาน โดยไม่เสียเวลาไปกับการแก้ไขชิ้นงาน เป็นต้น

บทที่ 5

การสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ในหัวข้อ การลดข้อบกพร่องที่มาจากการแจ้งข้อร้องเรียน ในงานดัดแปลงรถบรรทุก ตามความต้องการของลูกค้า ผู้วิจัยได้นำเอาหลักการ ชิกซ์ ชิกม่า มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ โดยดำเนินงานตามขั้นตอน 5 ขั้นตอนของ DMAIC เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการ และขั้นตอนการทำงานของพนักงานของบริษัททรนศึกษา ในส่วนงานดัดแปลงรถบรรทุก ส่วนการเชื่อมโยง และพัฒนาวิธีการปฏิบัติงานให้เป็นแบบแผนมาตรฐาน เพื่อเป็นแนวทางที่ถูกต้อง เหมาะสมแก่พนักงานในการปฏิบัติงาน

5. 1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การนิยามปัญหา (Define Phase)

ผู้วิจัย และทีมงานได้รวบรวมข้อมูลปัญหาจากข้อร้องเรียนของลูกค้าที่แจ้งเข้ามาทางบริษัททรนศึกษาในช่วงเดือน มกราคม ถึง เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2561 โดยปัญหาข้อร้องเรียนจะถูกแบ่งแยกออกเป็นประเภทข้อบกพร่องที่ลูกค้าแจ้งร้องเรียน โดยทางผู้วิจัยได้พิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายในงานซ่อมแก้ไขให้ลูกค้า เพื่อนำมากำหนดเป็นเป้าหมายที่จะใช้ดำเนินงาน ซึ่งจะเห็นว่า ข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายเกิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไขมากที่สุด เป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายมาดำเนินการแก้ไข และปรับปรุงกระบวนการ

5.1.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล (Measure Phase)

ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นด้วยการระดมสมอง (Brainstorming) ทำการศึกษาหัวข้อปัญหาข้อบกพร่องประเภทแชสซีเสียหาย วิเคราะห์ปัจจัยนำเข้า เพื่อหาปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสภาพปัญหาทั้งหมด โดยใช้เครื่องมือ แผนภาพสาเหตุ และผล (Cause and Effect Diagram) ตามหลักการ 5M 1E คือ พนักงาน เครื่องจักร วิธีการ การวัด วัสดุ และสภาพแวดล้อมการทำงาน เมื่อได้ปัจจัยนำเข้าครบทุกส่วน จากนั้นผู้วิจัย และทีมงานระบุคะแนนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กับปัญหาข้อบกพร่อง โดยใช้เครื่องมือ ตารางความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุ และผล (Cause

and Effect Metric) และจัดเรียงลำดับคะแนนความสัมพันธ์ ซึ่งพบว่าปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนนความสัมพันธ์สูง มีดังนี้

- 5.1.2.1 % รีพีทหะบิลิตี้
- 5.1.2.2 % ประสิทธิภาพด้านรีพีทหะบิลิตี้
- 5.1.2.3 % ความไม่ไบอัส
- 5.1.2.4 % ประสิทธิภาพด้านไบอัส
- 5.1.2.5 ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม
- 5.1.2.6 คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแชสซี
- 5.1.2.7 ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม
- 5.1.2.8 ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ
- 5.1.2.9 ลวดเชื่อมไม่มีคุณภาพ
- 5.1.2.10 วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง

จากนั้นเมื่อทราบปัจจัยนำเข้าที่จะดำเนินการแก้ไข และปรับปรุง ซึ่งปัจจัยที่นำมาพิจารณานั้น สามารถแบ่งการแก้ไขปัญหาได้ 3 ส่วนคือ

1. การวิเคราะห์ระบบการวัด (Gage R & R) ประกอบด้วย จึงเริ่มต้นที่การวิเคราะห์ความสามารถของเครื่องเชื่อมด้านความเที่ยงตรง (Accuracy) (และการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบด้านความแม่นยำ) Precision และลด เพื่อให้การทดลองมีความถูกต้อง (สามารถในได้ดำเนินการประเมินความ และทีมงาน ผู้วิจัย ความแปรปรวนภายในระบบการทดลอง ประกอบ ขึ้น 30 ตรวจสอบชิ้นงาน คน 3 โดยมีพนักงานตรวจสอบ การวัดของพนักงานตรวจสอบ ชิ้นงานที่มีรอยเชื่อมไม่สมบูรณ์จำนวน ด้วย 10 ชิ้น ชิ้นงานที่มีสภาพรอยเชื่อมสมบูรณ์ และ ชิ้น 10 และงานสมบูรณ์ นีซี 5 โดยแบ่งออกเป็นงานไม่สมบูรณ์แบบก้ำกึ่ง ชิ้น 10 ชิ้นงานที่มีลักษณะก้ำกึ่ง พบว่า ซึ่งจากผลการประเมิน ครั้ง 3 การตรวจสอบพนักงานจะตรวจสอบซ้ำ ชิ้น 5 แบบก้ำกึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้มี ตามองค์กรกำหนด %100 ที่ พนักงานตรวจสอบมีค่าการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์เกณฑ์ในการตรวจสอบและหลัก จึงทำการอบรมวิธีการ ชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องหลุดไปถึงมือลูกค้า เพื่อให้พนักงานมีความรู้ ตามมาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ และทำการประเมินซ้ำอี และความเข้าใจที่ถูกต้องอีกครั้ง โดยหลังการอบรมได้ผลการประเมินระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบที่ %100 ดังนั้นพนักงานตรวจสอบจึงมีความพร้อมให้การตรวจสอบ และแยกแยะคุณภาพชิ้นงานออกได้อย่างถูกต้อง

2. การจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) การจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน โดยทางผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญได้จัดทำเอกสารประกอบการทำงานของพนักงาน เอกสาร

ดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่ใช้เน้นยำ และเดือนการทำงานของพนักงาน เพื่อให้พนักงานปฏิบัติงานไปในแนวทางเดียวกัน ถูกต้อง และเป็นมาตรฐาน

3. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) การออกแบบการทดลองเป็นการนำปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องทำให้เกิดขึ้นงานบกพร่องในกระบวนการเชื่อมโลหะมาทำการทดลองโดยกำหนดปัจจัยการทดลอง เพื่อค่าปัจจัยที่เหมาะสม

5.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

จากปัจจัยนำเข้าทั้ง 10 ปัจจัยที่ได้วิเคราะห์มา ทางผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญ จึงนำเอาปัจจัยวิธีการเชื่อมไม่ถูกต้องที่มีแนวทางแก้ไขโดยวิธีการออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยต่อไป โดยรายละเอียดของวิธีการเชื่อม ประกอบด้วยองค์ประกอบของงานเชื่อมโลหะ 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. ลวดเชื่อม (Electrode)
2. กระแสไฟฟ้า (Current)
3. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)
4. มุมหัวเชื่อม (Angle)
5. ความเร็วในการเชื่อม (Speed)

จากองค์ประกอบของงานเชื่อมโลหะทั้ง 5 ข้อข้างต้น พบว่า ลวดเชื่อมในกระบวนการเชื่อมโลหะของบริษัทการศึกษาได้ทำการกำหนดให้ใช้ AWS A5.28 ER80S-G ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม. มุมหัวเชื่อม ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทางผู้วิจัยควบคุมได้ยาก เนื่องจากเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับความชำนาญของพนักงานเชื่อมโลหะแต่ละคน จึงทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมให้มีความคงที่ตลอดแนวการเชื่อมได้ ทางผู้วิจัยจึงไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ องค์ประกอบในส่วนความเร็วในการเชื่อม ซึ่งความเร็วมีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อมเป็นอย่างมาก นั้นส่งผลต่อระยะการซึมลึกของแนวเชื่อม และความแข็งแรง แต่ในส่วนความเร็วในการเชื่อมก็ถือเป็นอีกหนึ่งพฤติกรรมของพนักงานที่ขึ้นอยู่กับความชำนาญของพนักงานแต่ละคน ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดความเร็วออกเป็นช่วงของพฤติกรรมการเชื่อม คือ เชื่อมช้าที่ 5-6 นาที และเชื่อมเร็ว 2-3 นาทีที่ระยะการเชื่อม 275 มม. ดังนั้นจะเหลือในส่วนการควบคุมปัจจัย คือ กระแสไฟฟ้า และแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งหลังจากที่ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบการทำงานของพนักงานเชื่อม พบว่า อีกหนึ่งสิ่งที่มีการปรับตั้งค่าก่อนการเชื่อม คือ อัตราการไหลของแก๊สคลุมแนวเชื่อม ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการออกแบบการทดลองโดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้า และอัตราการไหลของแก๊สคลุม ซึ่งแบ่งกรณีการพิจารณาเป็นกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมช้า และกลุ่มพฤติกรรมการเชื่อมเร็ว

การออกแบบการทดลอง โดยเริ่มจากการออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาค่าเหมาะสมของแต่ละปัจจัย ที่ส่งผลให้เกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแชสซีเสียหายน้อยที่สุด กำหนดระดับปัจจัยเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) ระดับกลาง (0) และระดับสูง (+1) โดยมีการทดลอง 15 การทดลอง ทำซ้ำ 5 ครั้ง ดังนั้นการทดลองทั้งหมด 75 การทดลอง จากผลการทดลองการวิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Regression) เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้หลักการ Response Optimization ของโปรแกรม Minitab พบว่า

5.1.3.1 กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า

1. กระแสไฟฟ้า (Current) มีค่าเท่ากับ 185 แอมแปร์
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มีค่าเท่ากับ 150 โวลท์
3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มีค่าเท่ากับ 20 ลิตร/นาที

5.1.3.2 กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

1. กระแสไฟฟ้า (Current) มีค่าเท่ากับ 235 แอมแปร์
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มีค่าเท่ากับ 175 โวลท์
3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มีค่าเท่ากับ 30 ลิตร/นาที

5.1.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญนำเอาค่าปัจจัยที่เหมาะสม ทั้ง 3 ปัจจัย มาทำการทดลองในกระบวนการเชื่อมโลหะ โดยการเปรียบเทียบการทดลองระหว่างค่าที่ใช้ในปัจจุบัน และค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง โดยค่าเหมาะสมของแต่ละปัจจัย มีดังนี้

5.1.4.1 กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมช้า

1. กระแสไฟฟ้า (Current) มีค่าเท่ากับ 185 แอมแปร์
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มีค่าเท่ากับ 150 โวลท์
3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มีค่าเท่ากับ 20 ลิตร/นาที

5.1.4.2 กลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

1. กระแสไฟฟ้า (Current) มีค่าเท่ากับ 235 แอมแปร์
2. แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มีค่าเท่ากับ 175 โวลท์
3. อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มีค่าเท่ากับ 30 ลิตร/นาที

หลังจากการทดลอง เพื่อยืนยันค่าเหมาะสมของแต่ละปัจจัยในการใช้ปรับปรุง และแก้ไข กระบวนการ พบว่า สัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่องประเภทแซสซีเสียหายโดยเปรียบเทียบค่าปัจจัยที่ใช้ในปัจจุบัน เท่ากับ 0.60 และหลังการแก้ไข 0.12 ดังนั้นในกลุ่มเหตุการณ์การเชื่อมชิ้นงานสามารถลดสัดส่วนจำนวนชิ้นงานบกพร่องลงได้ 0.48 ส่วนกลุ่มเหตุการณ์การเชื่อมเร็วจากค่าปัจจุบันเกิดจำนวนชิ้นงานบกพร่องที่ 0.72 หลังการแก้ไขพบว่ามีส่วนเท่ากับ 0.20 ซึ่งจำนวนชิ้นงานบกพร่องมีสัดส่วนลดลง 0.52

5.1.5 ขั้นตอนการติดตามควบคุม (Control Phase)

การควบคุมอัตราการเกิดข้อบกพร่องประเภทแซสซีเสียหาย โดยการควบคุมกระบวนการเชื่อมโลหะ หลังจากที่ได้ผู้วิจัย และทีมงานทำการทดลองปรับปรุงไป ซึ่งจากผลการทดลองเพื่อยืนยันค่าปัจจัย พบว่า สามารถลดสัดส่วนของข้อบกพร่องได้ ผู้วิจัย และทีมงานจึงได้จัดทำเอกสารแสดงวิธีการปฏิบัติงาน หรือ WI (Work Instruction) แผนการปฏิบัติงาน และแผนภูมิควบคุมคุณภาพ ดังนี้

5.1.5.1 วิธีการตรวจสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม การตรวจสอบวัสดุนั้นเป็นการตรวจสอบก่อนการปฏิบัติงานเชื่อม โดยการตรวจสอบคุณสมบัติ หรือชนิดของวัสดุ อย่างเช่น เหล็กที่จะมาทำการต่อปลายแซสซี ลวดเชื่อม แก๊สคลุม เป็นต้น และความสะอาดของวัสดุ เพื่อเตรียมพร้อมก่อนงานเชื่อมโลหะ

5.1.5.2 วิธีการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ การตรวจสอบอ้างอิงวิธีการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีตรวจพินิจ ซึ่งการตรวจสอบเป็นการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา โดยคัดแยกชิ้นงานระหว่างชิ้นงานดี และชิ้นงานบกพร่อง ชิ้นงานบกพร่องจะถูกคัดแยกออก เพื่อทำการแก้ไข และตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมอีกครั้งจนผ่านตามข้อกำหนด ก่อนที่จะปล่อยชิ้นงานออกไปให้

5.1.5.3 วิธีการปฏิบัติในการเชื่อม เป็นการกำหนดค่าปัจจัยการเชื่อมโลหะ โดยพนักงานจำเป็นต้องทำการปรับตั้งค่าปัจจัยให้ถูกต้องตามเหตุการณ์การเชื่อมของตัวพนักงานก่อนการเชื่อมโลหะ ดังนี้

1. กลุ่มเหตุการณ์การเชื่อมช้า

- (1) กระแสไฟฟ้า (Current) มีค่าเท่ากับ 180-185 แอมแปร์
- (2) แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มีค่าเท่ากับ 150-155 โวลท์
- (3) อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มีค่าเท่ากับ 20-25 ลิตร/นาที

2. กลุ่มเหตุการณ์การเชื่อมเร็ว

- (1) กระแสไฟฟ้า (Current) มีค่าเท่ากับ 230-235 แอมแปร์

(2) แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) มีค่าเท่ากับ 170-175 โวลท์

(3) อัตราการไหลของแก๊สคลุม (Gas Flow) มีค่าเท่ากับ 25-30 ลิตร/นาที

5.1.5.4 แผนปฏิบัติงานเป็นแผนงานที่ผู้วิจัย และทีมงานผู้เชี่ยวชาญร่างแบบไว้ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องดำเนินการปฏิบัติงานตามแบบแผน เพื่อเป็นการพัฒนาการทำงานของพนักงานให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และมีความรู้ ความเข้าใจ และการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมที่ถูกต้อง และเกิดเป็นมาตรฐานการทำงานที่สามารถทำให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เป้าหมายกำหนด

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 จากงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยศึกษาเฉพาะปัญหาข้อบกพร่องประเภทแซลซีเสียหาย เท่านั้น ดังนั้นควรทำการศึกษาเพิ่ม และขยายผลไปดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องอื่นๆด้วย ของ บริษัทกรณีศึกษา

5.2.2 การศึกษาเพิ่มเติมในกรณีเครื่องเชื่อม และอุปกรณ์ที่นอกเหนือจาก ยี่ห้อ Rilon รุ่น MIG 500 IGBT และลวดเชื่อม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม มาตรฐาน .AWS A5.28 ER80S-G เพื่อนำไปใช้ได้ในส่วนงานผลิตอื่นๆ

5.2.3 ควรมีความเข้าใจในหลักการ ซิกซ์ ซิกม่า ในทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อการวิเคราะห์ และการดำเนินงานที่ถูกต้อง

5.2.4 การทดลองควรใช้จำนวนชิ้นงานตัวอย่างเป็นจำนวนมาก เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียด และถูกต้องมากขึ้น

บรรณานุกรม

Uncategorized References

1. พิศาล เพลินภูเขียว, การลดปริมาณของเสีย และงานซ่อมแซมในกระบวนการผลิตโพลีเมอร์สำหรับ เบาะรถยนต์ โดยแนวคิด ชิกส์ ชิกม่า, in สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะ วิศวกรรมศาสตร์. 2559, มหาวิทยาลัยบูรพา.
2. ทวีชัย ชูเกียรติ, การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการชুবวงจรรวมตาม แนวทางชิกส์ ชิกม่า, in สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2552, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
3. Benbow, T.M.K.a.D.W., *The Certified Six Sigma Black Belt Handbook*, ed. n. edition. 2009: ASQ Quality Press. 6-7.
4. พิเชิต สุขเจริญพงษ์, การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม. 2521, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
5. Richard, A., *LESSON 3 Analytical Tools*. 2014.
6. กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA):ประมวลผลด้วยMinitab. 2553, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น: กรุงเทพฯ
7. C., M.a.D., *Montgomery, Douglas C.* . 2017: John wiley & sons.
8. J, H.a.M., *Six Sigma: a breakthrough strategy for profitability*, 31.5, Editor. 1998, Quality progress. p. 60.
9. อมรศักดิ์ มาใหญ่, การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สคลุมรอยต่อเกยเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 และ เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304, in วิชาเอกวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2557, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
10. สมชัย เถาสมบัติ, เทคโนโลยี การเชื่อมและการประสาน. 2529: ยูไนเต็ทบุ๊คส์.
11. เชิดเชลง ชิตชวนกิจ และคณะ, วิศวกรรมเชื่อม. 2524, สมาคม ส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิค ระหว่างประเทศ.
12. กรมโยธาธิการ และผังเมือง, มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการ ทดสอบแบบไม่ทำลาย, พ. 1, Editor. 2551.
13. อภินันท์ แต่ตระกูล, การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อมทิก : กรณีศึกษาชิ้นส่วน เครื่องบิน, in ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. .
14. อนุสิทธิ์ อ่ำไพบุลย์, พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบแม็ก สำหรับเหล็ก เอสที 37.

- 2551, การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2551.
15. สมศักดิ์ สุวรรณมิตร, การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์รถยนต์บรรทุก 2 ตัน โดยใช้เทคนิค QFD, in ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2552, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
 16. ชินฉันทย์ พิรบูรณ์ไกรกุล, การหาค่าระดับปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อมท่อทองแดงที่ดีที่สุด แบบอัลตราโซนิก, in ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2558, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
 17. McCarty, T., Bremer, M., Daniels, L., & Gupta, P., *The Six Sigma black belt handbook*. 2004, New York McGraw-Hill Companies, Inc. Motorola University.
 18. Brettner, F.Y.a.D., *Process Improvement in Electronics Industry*. 1992, New York: John Wiley & Sons Inc.
 19. ชาญชัย วิเศษสุนน, การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม (GMAW) ร่วมการอบคืนตัวรอยเชื่อมต่อสมบัติการเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ AISI 1010. 2554, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: กรุงเทพฯ.
 20. มานะศิษฐ์ พิมพ์สาร, คู่มือการเชื่อม มิก-แม็ก GMAW-Welding. 2542, กรุงเทพฯ บริษัท เอ็ม แอนด์อี จำกัด.





ภาคผนวก ก-1 เอกสารใบเคลมในระบบ

เอกสารใบเคลมในระบบ (CLAIM SHEET)				
Dealer Name			Dealer Claim No.	
System Claim No.			Job Claim No.	Type of Claim
			PC	PD
			NO	
Chassis Model	Chassis No.	Warranty Start Date	Repair Date	Mileage
Engine Model	Engine No.	Sublet / Code	Invoice No.	
Original Failed Parts				
No.	Part No.	Part Name	Quantity	Amount
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
Total				
Description				
1. Nature of Defect				
2. Presumable Cause				
3. Countermeasure Taken				

ภาคผนวก ก-2 เอกสารรายงานด้านเทคนิค

รายงานด้านเทคนิค (Technical Sheet)										
เรื่อง			รหัสเคส							
เลขเอกสาร			เลขที่เคส			วันที่รายงาน				
รุ่นรถ / เลขซีซี				เลขเครื่องยนต์						
เลขกิโลเมตร				วันที่เกิดเหตุ			การรับประกัน			
ชื่อลูกค้า				ที่อยู่		<input type="checkbox"/> ในระยะประกัน <input type="checkbox"/> เกินระยะประกัน				
ลักษณะตัวถัง				น้ำหนักบรรทุกรวม						
สินค้าบรรทุก				น้ำหนักรถ						
เส้นทางการใช้งาน	จาก				ถึง			ระยะทาง		
สภาพถนน			ทางหลวงลาดยาว			ถนนคอนกรีต			ถนนลูกรัง	ถนนลูกรัง
ความเร็วใช้งานสูงสุด				กม./ชม.		ความเร็วใช้งานต่ำสุด				กม./ชม.
อะไหล่เสียหาย										
จุดสังเกตการเสียหาย			เสียงดังผิดปกติ				ติดตั้งผิด		ทำงานผิดปกติ	
			สั่นสะเทือนมาก				อุปกรณ์ไม่ทำงาน		อื่นๆ	
รายละเอียดการเสียหาย										
สาเหตุการเสียหาย										
อะไหล่ที่เสียหาย										



ภาคผนวก ข-1 แบบฟอร์มการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และผลกระทบ

ลำดับ	ปัจจัย	รายละเอียด	คะแนนความสัมพันธ์			
			0	3	6	9
1	วัตถุดิบ	ลวดเชื่อมมีคุณสมบัติไม่ตรงกับวัสดุ	0	3	6	9
2	วัตถุดิบ	คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแชสซี	0	3	6	9
3	วัตถุดิบ	ผิวเหล็กไม่สะอาด	0	3	6	9
4	เครื่องจักร	ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม	0	3	6	9
5	เครื่องจักร	อุปกรณ์จับยึดไม่มั่นคง	0	3	6	9
6	พนักงาน	ไม่มีความชำนาญงานเชื่อมโลหะ	0	3	6	9
7	พนักงาน	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ	0	3	6	9
8	วิธีการ	วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	0	3	6	9
9	วิธีการ	ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม	0	3	6	9
10	วิธีการ	ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ	0	3	6	9
11	การวัด	% รีพิททะเลบิลิตี้	0	3	6	9
12	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านรีพิททะเลบิลิตี้	0	3	6	9
13	การวัด	% ความไม่ไบอัส	0	3	6	9
14	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านไบอัส	0	3	6	9
15	สิ่งแวดล้อม	พื้นที่การเชื่อมไม่สะดวก	0	3	6	9
16	สิ่งแวดล้อม	ฝุ่นละอองในอากาศสูง	0	3	6	9
17	สิ่งแวดล้อม	อุณหภูมิพื้นที่ทำงานสูง	0	3	6	9

ภาคผนวก ข-2 คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และผลกระทบ

ลำดับ	ปัจจัย	รายละเอียด	คะแนนความสัมพันธ์						รวม
			ผู้จัดการ ฝ่าย วิศวกรรม	หัวหน้า หน่วยงาน วิศวกรรม	หัวหน้า หน่วยงาน วิศวกรรม	วิศวกร ตรวจสอบ คุณภาพ	วิศวกร ตรวจสอบ คุณภาพ	วิศวกร ตรวจสอบ คุณภาพ	
1	วัดดูดิบ	ลวดเชื่อมมีคุณสมบัติไม่ตรงกับวัสดุ	6	9	9	6	6	6	42
2	วัดดูดิบ	คุณสมบัติเหล็กไม่ตรงกับแอสซี	9	9	9	9	9	9	54
3	วัดดูดิบ	ผิวเหล็กไม่สะอาด	6	3	6	3	3	3	24
4	เครื่องจักร	ประสิทธิภาพเครื่องเชื่อม	9	6	9	6	9	9	48
5	เครื่องจักร	อุปกรณ์จับยึดไม่มั่นคง	3	3	3	3	3	3	18
6	พนักงาน	ไม่มีความชำนาญงานเชื่อมโลหะ	6	6	6	6	6	6	36
7	พนักงาน	ความผิดพลาดในการตรวจสอบ	6	6	6	6	6	6	36
8	วิธีการ	วิธีการเชื่อมไม่ถูกต้อง	9	9	9	9	9	9	54
9	วิธีการ	ไม่มีวิธีการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อม	9	9	9	9	9	9	54
10	วิธีการ	ไม่มีวิธีการปฏิบัติงานก่อนงานเชื่อมโลหะ	9	9	6	9	6	9	48
11	การวัด	% รีฟิทเพบิลิตี้	9	9	9	9	9	9	54
12	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านรีฟิทเพบิลิตี้	9	9	9	9	9	9	54
13	การวัด	% ความไม่บิดเบี้ยว	9	9	9	9	9	9	54
14	การวัด	% ประสิทธิภาพด้านบิดเบี้ยว	9	9	9	9	9	9	54
15	สิ่งแวดล้อม	พื้นที่การเชื่อมไม่สะอาด	3	3	0	3	3	0	12
16	สิ่งแวดล้อม	ฝุ่นละอองในอากาศสูง	0	0	0	3	3	0	6
17	สิ่งแวดล้อม	อุณหภูมิพื้นที่ทำงานสูง	0	0	0	0	0	0	0



ภาคผนวก ค-1 ตัวอย่างเอกสารการสอบเทียบเครื่องมือ

Page 1 of 3

Out ref. : _____ Certificate No. : _____

CERTIFICATE OF TESTING

PLACE OF TESTING : _____
 SUBJECT TESTED : _____
 TEST PROCEDURE : _____
 CLIENT : _____
 CLIENT ADDRESS : _____

INSTRUMENT NAME : _____ INSTRUMENT NO. : _____
 MANUFACTURE : _____ SERIAL NO. : _____
 MODEL : _____ DATE OF TESTING : _____

LABORATORY ENVIRONMENT

TEMPERATURE : _____ °C HUMIDITY : _____ %RH

REFERENCE STANDARDS

Instrument	Serial No.	Model	Cal. Date	Certificate
Digital Clamp Meter	151216	F205	May 27, 2016	(NIMT) OC Cert. No. CE 160083
Panelmeter	355008526	DR-98N-DCV-4N	Mar 27, 2017	(NIMT) QIC Cert. No. CAL00968-17
Panelmeter	355008527	DR-98N-DCV-4N	Mar 10, 2017	(NIMT) QIC Cert. No. CAL00833-17
Power Meter	335077811	DPM-12-5-P*M	Feb 16, 2017	(NIMT) QIC Cert. No. CAL00457-17

Issue Date

Tested by

Certified by

_____ (_____) (_____)

ภาคผนวก ค-1 (ต่อ) ตัวอย่างเอกสารการสอบเทียบเครื่องเชื่อม

Out ref. : _____ Certificate No. : _____

DATE OF TESTING : _____ TEST PROCEDURE : _____

INSTRUMENT NAME : _____ INSTRUMENT NO. : _____

MANUFACTURE : _____ SERIAL NO. : _____

MODEL : _____ WELDING PROCESS : _____

TEST RESULTS

OUTPUT RESULTS

[] DC [] AC Rated _____ A

Test Value (A)	Current (A)				Criteria
	Display	Reading	Error	Uncert ±	

Test Value (A)	Voltage (V)				Criteria
	Display	Reading	Error	Uncert ±	

ภาคผนวก ค-1 (ต่อ) ตัวอย่างเอกสารการสอบเทียบเครื่องเชื่อม

Page 3 of 3

Out ref. : _____ Certificate No. : _____

INPUT AND DUTY CYCLE RESULTS

Test Value (A)	Input		PF	Efficiency
	Current (A)	Voltage (V)		
100% Duty Cycle	A	V		
OCV (Open Circuit Voltage)		Volt		
Maximum Power Factor			Maximum Power Factor	
Maximum Efficiency			Minimum Efficiency	

END OF REPORT



ภาคผนวก ง-1 ผลการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมต่อ

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊ส ค ลูม (นาทิลิตร)	ชิ้นงานบกพร่อง
13	1	200	140	25	ไม่มี
29	2	200	140	25	ไม่มี
30	3	200	140	25	ไม่มี
1	4	160	100	25	ไม่มี
22	5	160	140	35	ไม่มี
15	6	200	140	25	ไม่มี
62	7	240	100	25	มี
57	8	200	180	35	มี
5	9	160	140	15	ไม่มี
67	10	160	140	35	ไม่มี
70	11	200	180	15	ไม่มี
31	12	160	100	25	มี
10	13	200	180	15	ไม่มี
8	14	240	140	35	มี
46	15	160	100	25	ไม่มี
37	16	160	140	35	ไม่มี
20	17	160	140	15	ไม่มี
2	18	240	100	25	มี
56	19	200	100	35	มี
51	20	240	140	15	มี
28	21	200	140	25	ไม่มี
48	22	160	180	25	มี
32	23	240	100	25	มี

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊ส กลุ่ม (นาทิลิตร)	ชิ้นงาน บกพร่อง
39	24	200	100	15	มี
65	25	160	140	15	ไม่มี
40	26	200	180	15	ไม่มี
66	27	240	140	15	ไม่มี
25	28	200	180	15	ไม่มี
3	29	160	180	25	ไม่มี
21	30	240	140	15	มี
26	31	200	100	35	มี
53	32	240	140	35	ไม่มี
50	33	160	140	15	ไม่มี
75	34	200	140	25	ไม่มี
63	35	160	180	25	ไม่มี
19	36	240	180	25	มี
38	37	240	140	35	มี
4	38	240	180	25	มี
33	39	160	180	25	ไม่มี
11	40	200	100	35	มี
18	41	160	180	25	มี
73	42	200	140	25	ไม่มี
68	43	240	140	35	มี
61	44	160	100	25	มี
36	45	240	140	15	ไม่มี
69	46	200	100	15	ไม่มี
41	47	200	100	35	มี

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊ส กลุ่ม (นาทิลิตร)	ชิ้นงาน บกพร่อง
14	48	200	140	25	ไม่มี
58	49	200	140	25	ไม่มี
49	50	240	180	25	มี
23	51	240	140	35	มี
16	52	160	100	25	มี
34	53	240	180	25	ไม่มี
44	54	200	140	25	ไม่มี
17	55	240	100	25	มี
71	56	200	100	35	มี
35	57	160	140	15	มี
42	58	200	180	35	มี
52	59	160	140	35	มี
7	60	160	140	35	ไม่มี
9	61	200	100	15	มี
45	62	200	140	25	ไม่มี
59	63	200	140	25	ไม่มี
47	64	240	100	25	มี
6	65	240	140	15	มี
24	66	200	100	15	มี
12	67	200	180	35	ไม่มี
64	68	240	180	25	มี
54	69	200	100	15	มี
60	70	200	140	25	ไม่มี
72	71	200	180	35	มี

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหลของแก๊ส กลุ่ม (นาที/ลิตร)	ชั้นงาน บกพร่อง
74	72	200	140	25	ไม่มี
27	73	200	180	35	มี
55	74	200	180	15	ไม่มี
43	75	200	140	25	ไม่มี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ง-2 ผลการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนกลุ่มพฤติกรรมกรรมการเชื่อมเร็ว

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลท์)	อัตราการไหลของแก๊สคลุม (นาทิลิตร)	ชิ้นงานบกพร่อง
62	1	260	140	25	ไม่มี
48	2	180	220	25	มี
30	3	220	180	25	ไม่มี
36	4	260	180	15	มี
44	5	220	180	25	ไม่มี
1	6	180	140	25	ไม่มี
35	7	180	180	15	มี
55	8	220	220	15	มี
15	9	220	180	25	ไม่มี
51	10	260	180	15	มี
38	11	260	180	35	มี
7	12	180	180	35	มี
47	13	260	140	25	มี
9	14	220	140	15	มี
22	15	180	180	35	มี
24	16	220	140	15	มี
12	17	220	220	35	มี
23	18	260	180	35	ไม่มี
37	19	180	180	35	มี
67	20	180	180	35	มี
71	21	220	140	35	มี
70	22	220	220	15	มี
66	23	260	180	15	มี

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหล ของแก๊สคลูม (นาทิลิตร)	ชิ้นงาน บกพร่อง
34	24	260	220	25	ไม่มี
41	25	220	140	35	ไม่มี
17	26	260	140	25	มี
61	27	180	140	25	มี
13	28	220	180	25	ไม่มี
56	29	220	140	35	ไม่มี
6	30	260	180	15	ไม่มี
63	31	180	220	25	มี
27	32	220	220	35	ไม่มี
8	33	260	180	35	ไม่มี
18	34	180	220	25	มี
21	35	260	180	15	ไม่มี
40	36	220	220	15	มี
32	37	260	140	25	ไม่มี
69	38	220	140	15	มี
26	39	220	140	35	ไม่มี
14	40	220	180	25	ไม่มี
68	41	260	180	35	ไม่มี
43	42	220	180	25	ไม่มี
57	43	220	220	35	มี
53	44	260	180	35	ไม่มี
42	45	220	220	35	ไม่มี
29	46	220	180	25	มี
54	47	220	140	15	มี

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหล ของแก๊สคลูม (นาที/ลิตร)	ชิ้นงาน บกพร่อง
16	48	180	140	25	ไม่มี
39	49	220	140	15	มี
59	50	220	180	25	ไม่มี
65	51	180	180	15	มี
73	52	220	180	25	ไม่มี
10	53	220	220	15	ไม่มี
28	54	220	180	25	ไม่มี
11	55	220	140	35	ไม่มี
75	56	220	180	25	ไม่มี
5	57	180	180	15	มี
31	58	180	140	25	มี
72	59	220	220	35	มี
58	60	220	180	25	ไม่มี
33	61	180	220	25	มี
52	62	180	180	35	มี
25	63	220	220	15	มี
74	64	220	180	25	ไม่มี
45	65	220	180	25	ไม่มี
46	66	180	140	25	มี
4	67	260	220	25	มี
64	68	260	220	25	มี
2	69	260	140	25	มี
20	70	180	180	15	มี
3	71	180	220	25	ไม่มี

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองสุ่ม	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์)	อัตราการไหล ของแก๊สคลอรีน (นาทิลิตร)	ชั้นงาน บกพร่อง
50	72	180	180	15	มี
19	73	260	220	25	มี
60	74	220	180	25	ไม่มี
49	75	260	220	25	ไม่มี





ภาคผนวก จ-1 เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม

คู่มือวิธีปฏิบัติงาน

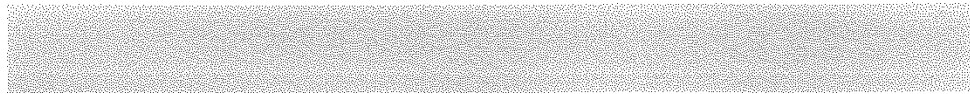
Work Instruction

หัวข้อ การตรวจสอบวัสดุที่เกี่ยวข้องกับงานเชื่อม
 ขั้นตอน ส่วนงานเชื่อมโลหะ
 ผู้ตรวจสอบ พนักงานประจำเครื่องเชื่อม
 ขั้นตอนการตรวจสอบ

ลำดับ	รายละเอียด	การตรวจสอบ	การควบคุม	การประเมิน	
				ถูกต้อง	ต้องแก้ไข
1	เหล็กต่อแชลซี	คุณลักษณะ	เหล็กตัวซี "C" ขนาด 275x80x9 มม.		
		เกรดวัสดุ	SS400		
		ลักษณะ	ปลายบาก 45 องศา รอบด้าน		
			ไม่มีรอยแตก และคราบสนิม		
2	ลวดเชื่อม	คุณลักษณะ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 มม.		
		มาตรฐาน	AWS A5.28 ER80S-G		
		การเชื่อม	การเชื่อมมิก/แม็ก (MIG/MAG) หรือกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุม		
		ลักษณะ	ลวดเชื่อมเป็นของใหม่ ไม่ใช่ของเก่าหรือมีรอยตำหนิ		
3	แก๊สคลุม	คุณลักษณะ	CO ₂		

ผู้จัดทำ	ผู้ตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ผู้อนุมัติ

ภาคผนวก จ-2 เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ



คู่มือวิธีปฏิบัติงาน

Work Instruction

หัวข้อ ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมบนชิ้นงาน ขั้นตอน ส่วนงานเชื่อมโลหะ
 การตรวจสอบ ตรวจสอบทุกชิ้นงาน ผู้ตรวจสอบ พนักงานตรวจสอบคุณภาพ
 รายละเอียดการตรวจสอบคุณภาพ ตารางที่ 1 เกณฑ์การยอมรับรอยบกพร่องในรอยเชื่อม

ลำดับ	ประเภทข้อบกพร่อง	รายละเอียด	เกณฑ์การพิจารณายอมรับ
1	รอยแตก (Crack)	รอยแตกทุกชนิด	ไม่อนุญาตให้มี
2	รูพรุน (Porosity)	รอยเชื่อมเชื่อมแบบบ่ากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
3	หน้าตัดจุดเชื่อม (Crater Cross Section)	ทุกหน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมจะต้องเติมแนวเชื่อมให้เต็มตามขนาดของรอยเชื่อมที่ระบุ	หน้าตัดของจุดหยุดเชื่อมต้องเติมแนวเชื่อมให้เต็ม
4	รอยกัดเนื้อ (Undercut)	ความหนาโลหะงานน้อยกว่า 25 มม.	ความลึกของรอยกัดเนื้อไม่เกิน 1 มม. หรือ ไม่เกิน 2 มม. และความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดเนื้อเฉลี่ยรวมกันไม่เกิน 50 มม. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 มม.
5	รอยเชื่อมไม่ได้นขนาด (Undersized Weld)	1. รอยเชื่อมทุกกรณี	รอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของความยาวรอยเชื่อมทั้งหมด
		2. กำหนดขนาดรอยเชื่อมระบุ > 8 มม.	ขนาดรอยเชื่อมเล็กกว่าขนาดรอยเชื่อมระบุไม่เกิน 3 มม.
6	รอยนูน (Convexity)	กำหนดความกว้างของรอยเชื่อม (Width of Weld Face : W)	$3 < W < 25$ มม. ระบุสูงไม่เกิน 3 มม.
7	รอยทาบ (Overlap)	สำหรับรอยเชื่อมนูน และรอยเชื่อมชนแบบบ่ากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
8	หลอมละลายไม่สมบูรณ์ (Incomplete Fusion)	สำหรับรอยเชื่อมนูน	ไม่อนุญาตให้มี
9	โลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	โลหะเชื่อมส่วนเกินที่กรณีโลหะงานความหนาเท่ากัน หรือโลหะงานความหนาต่างกัน	ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกินไม่เกิน 3 มม.
10	โลหะเชื่อมไม่เต็ม (Underfill)	รอยเชื่อมไม่เต็มสำหรับการเชื่อมต่อนแบบบ่ากร่อง	ไม่อนุญาตให้มี
11	ความเรียบของ ผิวรอยเชื่อม (Flush Surface)	สำหรับรอยเชื่อมแบบต่อนแบบบ่ากร่อง การขัดผิวรอยเชื่อมให้เรียบเสมอโลหะงานต้องไม่เอียง ดังนี้	ไม่น้อยกว่าความหนาของโลหะงานที่บ่ากร่องไม่เกิน 1 มม.
		1. ความหนาของเชื่อมภายหลังการขัดผิว และความหนาของโลหะงานภายหลังการขัดผิว 2. ความสูงของโลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement)	ไม่เกิน 1 มม.
12	การแต่งผิวรอยเชื่อม (Surface Finishing)	ขัดผิวในทิศทางใดก็ได้	ความหยาบน้อยกว่า 3.2 ไมครอน

หมายเหตุ : ให้ใช้ภาพที่ 1 ประกอบการพิจารณา

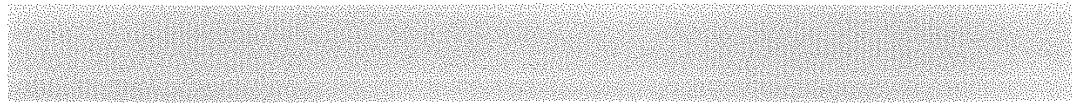
ตารางที่ 2 ขนาดรอยนูนที่ยอมรับตามความกว้างของรอยเชื่อม

ผู้จัดทำ	ผู้ตรวจสอบ	ผู้ตรวจสอบ	ผู้อนุมัติ

ความกว้างของแนวเชื่อม (W)	รอยนูนสูงสุด (C)
$W \leq 8$ มม.	2 มม.
$8 \text{ มม.} < W \leq 25$ มม.	3 มม.
$W \geq 25$ มม.	5 มม.



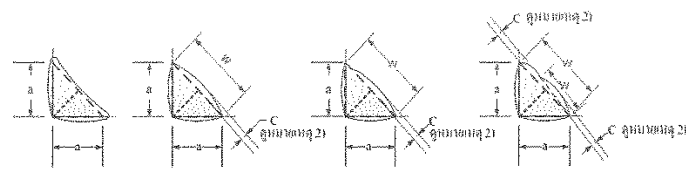
ภาคผนวก จ-2 (ต่อ) เอกสารวิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมโลหะ



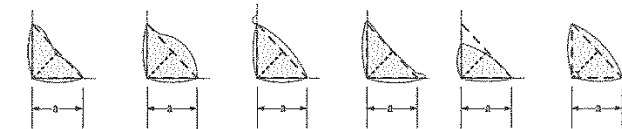
คู่มือวิธีปฏิบัติงาน

Work Instruction

หัวข้อ ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมบนชิ้นงาน ขั้นตอน ส่วนงานเชื่อมโลหะ
 การตรวจสอบ ตรวจสอบทุกชิ้นงาน ผู้ตรวจสอบ พนักงานตรวจสอบคุณภาพ
 รายละเอียดการตรวจสอบคุณภาพ

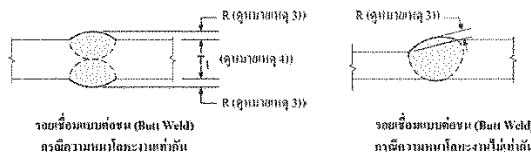


ก. รูปร่างของรอยเชื่อมมุม (Fillet Weld) ที่ต้องการ ข. รูปร่างของรอยเชื่อมมุมที่ยอมรับไม่ได้



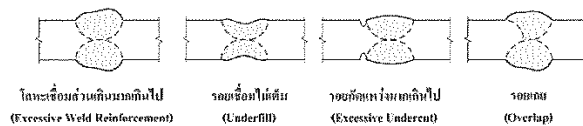
รอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาด (Undersize Weld) (Excessive Convexity) ความนูนมากเกินไป (Excessive Undercut) รอยที่คั่นไม่มาติดกัน (Overlap) รอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาด รอยละลายภายในสมบูรณ์ (Undersize Weld) (Incomplete Fusion)

ค. รูปร่างของรอยเชื่อมที่ยอมรับไม่ได้



รอยเชื่อมแบบต่อชน (Butt Weld) ที่มีความนูนมากเกินไป (a) รอยเชื่อมแบบต่อชน (Butt Weld) ที่มีความนูนที่กระด้างเกินไป (b)

ง. ลักษณะรอยเชื่อมแบบต่อชนที่รองรับไม่ได้



โลหะเชื่อมส่วนเกินมากเกินไป (Excessive Weld Reinforcement) รอยเชื่อมไม่เต็ม (Underfill) รอยที่คั่นไม่มาติดกัน (Excessive Undercut) รอยคั่น (Overlap)

จ. ลักษณะรอยเชื่อมแบบต่อชนที่รองรับไม่ได้

ภาพที่ 1 เกณฑ์การพิจารณาการยอมรับข้อบกพร่องในรอยเชื่อม

หมายเหตุ

- 1 ขนาดของรอยเชื่อม (Size of Weld : a)
- 2 รอยนูน (Convexity : C) ของรอยเชื่อม หรือของแนวเชื่อม ซึ่งมีความกว้าง W มีค่าไม่เกินค่าระบุดังตารางที่ 2
- 3 โลหะเชื่อมส่วนเกิน (Reinforcement : R) ต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร
- 4 T1 หมายถึง ความหนาของโลหะงาน
- 5 รอยเชื่อมทั้งหมดต้องเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับรอยเชื่อมดังตารางที่ 1 ในมาตรฐานนี้



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Somyos Phongsai
วัน เดือน ปี เกิด	6 July 1992
สถานที่เกิด	Bangkok
วุฒิการศึกษา	Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Mahidol University.
ที่อยู่ปัจจุบัน	1/1 m.19, T.Bueng Thong Lang, A.Lamlukka, Pathun Thani 12150

