การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์สำหรับสารเคมี

นางสาววรพร นาคประสงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

QUALITY IMPROVEMENT IN CHEMICAL TANK PRODUCTION

Miss Worraporn Nakprasong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์สำหรับสารเคมี
โดย	นางสาววรพร นาคประสงค์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วรพร นาคประสงค์ : การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์สำหรับสารเคมี. (QUALITY IMPROVEMENT IN CHEMICAL TANK PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช, 266 หน้า.

แท็งก์บรรจุวัตถุอันตรายมีความสำคัญต่อความปลอดภัยในการขนส่ง แท็งก์ต้องมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน ผ่านการทดสอบจากหน่วยงานตรวจสอบและได้รับการรับรองมาตรฐานจากหน่วยงานของรัฐ จากการศึกษากระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง พบว่าในกระบวนการผลิตเกิดข้อบกพร่องแท็งก์ไม่ผ่านการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) เป็นสัดส่วนที่สูง 53.83 เปอร์เซ็นต์ (ข้อมูลการผลิตแท็งก์ ปีพ.ศ. 2555) ส่งผลให้แท็งก์ที่ผลิตได้ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์

การดำเนินการวิจัยมีดังนี้ 1) การศึกษามาตรฐานข้อกำหนดการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย 2) การระดมสมองเพื่อค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) 3) การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อคำนวณดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) 4) การกำหนดวิธีการและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ และ 5) การประเมินและติดตามผลภายหลังการปรับปรุง ผลการดำเนินการวิจัยพบว่าสาเหตุของข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูง มีทั้งหมด 4 ข้อบกพร่อง ได้แก่ (1) ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ (2) เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ (3) ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก และ (4) เตรียมอุปกรณ์ติดตั้งไม่ตรงตามต้นแบบ จึงทำการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตโดย 1) การพัฒนาแผนคุณภาพ (quality plan) 2) การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน 3) การจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่อง 4) การสร้างตารางทักษะ (skill matrix) ของช่างเชื่อม และ 5) การสร้างระบบการฝึกอบรมช่างเชื่อม ผลการปรับปรุงคุณภาพ พบว่า สัดส่วนข้อบกพร่องจาก 1) การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ลดลง 58.92 เปอร์เซ็นต์ 2) ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพลดลง 35.49 เปอร์เซ็นต์ และ 3) ข้อบกพร่องบนผิวแนวเชื่อมลดลง 16.27 เปอร์เซ็นต์ จากสัดส่วนข้อบกพร่องที่ลดลงดังกล่าว ส่งผลให้สัดส่วนของแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ NDT ลดลง 37.50 เปอร์เซ็นต์

Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5470352121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: CHEMICAL TANK / QUALITY IMPROVEMENT / QUALITY PLAN / WELDER SKILL MATRIX

WORRAPORN NAKPRASONG: QUALITY IMPROVEMENT IN CHEMICAL TANK PRODUCTION. ADVISOR: ASSOC. PROF. JITTRA RUKIJKANPANICH, D.Eng., 266 pp.

Chemical storage tanks play an important role in transport safety. Chemical tanks shall conform to technical standard requirements, verified by an inspection body and also certified by the Department of Industrial Works. Regarding a case study from a factory, found the high proportion of tanks about 53.83 % that did not pass the Non-Destructive Testing (NDT) that caused tanks did not conform to technical standard requirements. So, the objective of this study was to improve quality in the chemical tank production.

The procedure started from 1) studying standard requirements of chemical tank production, 2) brainstorming to search for causes of defects via Cause-and-Effect Diagram, 3) using FMEA techniques and calculating the Risk Priority Number (RPN) to screen significant causes, 4) setting up methods and implementing to improve tanks' quality, and 5) evaluating and monitoring the concluded results. The result from this study revealed 4 defects having high RPN. Those were 1) incorrect type of metal, 2) low quality of weld bead, 3) weld bead cracking, and 4) incorrect preparation of tank parts. Above all, the improvements were concluded as 1) development of quality plan, 2) preparation of Check Sheets, 3) preparation of welding defects' Check Sheet, 4) creation of welders' skill matrix, and 5) development of welders' training system. The results of their quality improvement were the proportion of defects of 1) incorrect preparation of tank parts could be decreased by 58.92%, 2) low quality of weld bead could be decreased by 35.49%, and 3) weld bead cracking could be decreased 16.27%. From these results, the proportion of tanks not passing the NDT Test at first was able to be decreased by 37.50 %.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Department: Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดีจากความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ ความรู้และแนวทางสำหรับการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่เริ่มต้นการวิจัยจนสามารถจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา ประธารกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำแนะนำรวมทั้งข้อคิดเห็นต่างๆ ซึ่งช่วยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้บริหาร รวมถึงบุคลากรทุกท่านในโรงงานกรณีศึกษาที่ได้สละเวลาอันมีค่าคอยช่วยเหลือให้ข้อมูลตลอดจนให้ความร่วมมือในการดำเนินการวิจัยเป็นอย่างดี อีกทั้งยังให้คำแนะนำใรการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องและเพื่อนที่รักทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนและช่วยเหลือเกื้อกูล จนทำให้งานวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 2

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.4 การวัดผลการวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย 5

1.7 คำนิยาม 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 วัตถุอันตรายและภาชนะบรรจุ 8

2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) 11

2.3 ทฤษฎีคุณภาพและการปรับปรุงคุณภาพ (quality improvement) 13

2.4 ทฤษฎีความแปรผัน (variation) ในกระบวนการผลิต 14

2.5 ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง 15

2.6 ทฤษฎีการฝึกอบรม (training system) 15

2.8 รูปแบบการถ่ายทอดความรู้เฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL) 16

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 รายละเอียดการดำเนินงานวิจัย 26

3.1 การศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของแท็งก์ 27

3.2 การศึกษาข้อมูลทั่วไปและกระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา 27

3.3 การศึกษาสภาพทั่วไปและสภาพปัญหาในการผลิตแท็งก์ 27

หน้า

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis, FMEA) 27
3.5 การกำหนดวิธีการและแนวทางการแก้ไขปรับปรุง 28
3.6 การดำเนินการปรับปรุง 28
3.7 การประเมินผลการดำเนินการวิจัย 28
3.8 การสรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ 28
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย 29
4.1 การศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพของแท็งก์ 29
4.2 ข้อมูลทั่วไปและกระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา 31
4.3 สภาพทั่วไปและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแท็งก์ 54
บทที่ 5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 59
5.1 การจัดตั้งทีมงาน 59
5.2 การวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่อง 60
5.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของข้อบกพร่องและประเมินคะแนนค่าความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity, S) 87
5.4 การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องและประเมินคะแนนโอกาสในการเกิดสาเหตุ ของข้อบกพร่อง (Occurrence, O) 94
5.5 การวิเคราะห์และประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection, D) 103
5.6 การประเมินผลตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) 107
5.7 การกำหนดแนวทางและมาตรการการแก้ไขปรับปรุง 117
บทที่ 6 การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิต 121
6.1 การสร้างแผนคุณภาพ (quality plan) 121
6.2 การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน 142
6.3 การสร้างมาตรฐานวิธีการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ 156
6.4 การจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา 156
6.5 การสร้างระบบการฝึกอบรมและพัฒนาประสิทธิภาพช่างเชื่อม 163
6.6 การกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพ 191

หน้า

7.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต 201
7.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องจากการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ 204
7.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่างเชื่อม 207
7.4 การเปรียบเทียบคะแนน RPN ก่อนและหลัง 212
บทที่ 8 สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ 215
8.1 สรุปผลการวิจัย 215
8.2 ข้อเสนอแนะ 219
รายการอ้างอิง 221
ภาคผนวก ก ความหมายของแท็งก์สำหรับบรรจุสารเคมีอันตรายประเภทสารกัดกร่อน 224
ภาคผนวก ข การจำแนกประเภทของวัตถุอันตราย 9 ประเภท โดยประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย ปี พ.ศ. 2545 226
ภาคผนวก ค บัญชีรายการเอกสารในการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ 228
ภาคผนวก ง เอกสารประกอบการฝึกอบรม 233
ภาคผนวก จ มาตรฐานวิธีการทำงาน 250
ภาคผนวก ฉ แบบทดสอบความรู้ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของช่างเชื่อม 258
ภาคผนวก ช ข้อมูลการวัดประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อม 262
ภาคผนวก ซ เครื่องมือการวัดแนวเชื่อม 264
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 266

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 จำนวนแท็งก์ที่ไม่ผ่านทดสอบ NDT ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง เดือนพฤษภาคม 2556 3
ตารางที่ 2.1 ระบบการฝึกอบรมก่อนและหลังการพัฒนา 24
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการเชื่อมประกอบแท็งก์ 43
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการทำงานในขั้นตอนการเตรียมการก่อนการเชื่อม 46
ตารางที่ 4.3 สัดส่วนลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ 55
ตารางที่ 4.4 ลักษณะข้อบกพร่องหลักจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์ 58
ตารางที่ 5.1 ลักษณะข้อบกพร่องหลักจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์ 60
ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ 81
ตารางที่ 5.3 เกณฑ์สำหรับการประเมินคะแนนความรุนแรง (Severity, S) ของลักษณะข้อบกพร่อง 87
ตารางที่ 5.4 สรุปการประเมินความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องหลักต่างๆ 93
ตารางที่ 5.5 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง (Occurrence, O) 94
ตารางที่ 5.6 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะ 96
ตารางที่ 5.7 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ . 97
ตารางที่ 5.8 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ 98
ตารางที่ 5.9 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม 99
ตารางที่ 5.10 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด 100
ตารางที่ 5.11 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องแนวเชื่อมมีรอยแตก 100
ตารางที่ 5.12 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ 101
ตารางที่ 5.13 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องทุกข้อบกพร่องที่เกิดในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ 101
ตารางที่ 5.14 เกณฑ์คะแนนสำหรับการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection, D) 103
ตารางที่ 5.15 สรุปการประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับสาเหตุของข้อบกพร่อง 105
ตารางที่ 5.16 สรุปสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องและค่า RPN ของแต่ละสาเหตุ 108
ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) 110
ตารางที่ 5.18 แนวทางการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิต 118

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเบิกวัสดุ 122
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ 123
ตารางที่ 6.3 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการขึ้นรูปตัวแท็งก์ 123
ตารางที่ 6.4 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์ 124
ตารางที่ 6.5 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมแผ่นกั้นช่อง 125
ตารางที่ 6.6 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมติดตั้งฝา manhole 126
ตารางที่ 6.7 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมติดตั้ง nozzle 127
ตารางที่ 6.8 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย 128
ตารางที่ 6.9 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ 129
ตารางที่ 6.10 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมเก็บงาน 129
ตารางที่ 6.11 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการตกแต่งทำสี 130
ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา 131
ตารางที่ 6.13 เอกสารการเบิกแผ่นโลหะ (R1-F-01) 145
ตารางที่ 6.14 เอกสารการเบิกอุปกรณ์ (R2-F-01) 146
ตารางที่ 6.15 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ (P1-F-01) 148
ตารางที่ 6.16 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการขึ้นรูป (P2-F-01) 150
ตารางที่ 6.17 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์ (W1-F-01) 151
ตารางที่ 6.18 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมแผ่นกั้นช่องและเชื่อมประกอบแท็งก์ (W1-F-02) 152
ตารางที่ 6.19 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole (W2-F-01) 153
ตารางที่ 6.20 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้ง nozzle (W3-F-01) 154
ตารางที่ 6.21 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอน การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย (W4-F-01) 155
ตารางที่ 6.22 แบบตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม (W-Check-01) 161
ตารางที่ 6.23 แบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา (W-Check-02) 162
ตารางที่ 6.24 คุณลักษณะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา 167
ตารางที่ 6.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแบบทดสอบและคุณลักษณะด้านความรู้ของช่างเชื่อม 169
ตารางที่ 6.26 เกณฑ์การประเมินระดับทักษะช่างเชื่อม 170
ตารางที่ 6.27 สรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องทั้ง 4 ประเภท 180
ตารางที่ 6.28 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่แท้จริงและปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ 181
ตารางที่ 6.29 การกำหนดหัวข้อ OPL 186

ตารางที่ 6.30 บทเรียน OPL 187
ตารางที่ 6.31 ตารางทักษะ (skill matrix) 189
ตารางที่ 6.32 บทเรียน OPL ที่ช่างเชื่อมแต่ละระดับต้องฝึกอบรม 190
ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (control plan) 195
ตารางที่ 7.1 สัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง 201
ตารางที่ 7. 2 สรุปผลสัดส่วนข้อบกพร่องที่ลดลงแบบแบ่งกลุ่ม 204
ตารางที่ 7.3 สัดส่วนการไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมด้วยสายตา 206
ตารางที่ 7.4 เปรียบเทียบระดับของช่างเชื่อมก่อนและหลังการฝึกอบรม 209
ตารางที่ 7.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพช่างเชื่อมก่อนและหลังการฝึกอบรม 209
ตารางที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกับค่า RPN 212
ตารางที่ 7.7 ค่า RPN ก่อนและหลังการปรับปรุง 214

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 แท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุก 3
ภาพที่ 2.1 ภาชนะบรรจุขนาดต่างๆ 11
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 26
ภาพที่ 4.1 รูปตัวอย่างแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา 32
ภาพที่ 4.2 ผังโครงสร้างองค์กรของโรงงานกรณีศึกษา 33
ภาพที่ 4.3 แท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุก 34
ภาพที่ 4.4 ภาพรวมการดำเนินการผลิตแท็งก์ 36
ภาพที่ 4.5 กระบวนการผลิตแท็งก์ 39
ภาพที่ 4.6 การเตรียมแผ่นโลหะ โดยการออกแบบรอยต่อแบบต่อชนรูปตัว V 40
ภาพที่ 4.7 การขึ้นรูปแผ่นโลหะเป็นตัวแท็งก์ก่อนการเชื่อม 41
ภาพที่ 4.8 ตำแหน่งการเชื่อมติดตั้งฝา manhole 43
ภาพที่ 4.9 ตำแหน่งการติดตั้ง nozzle 44
ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งการเชื่อมฝาหัว-ฝาท้าย 45
ภาพที่ 4.11 แนวเชื่อมตามลำดับการเชื่อมในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ 47
ภาพที่ 4.12 ขั้นตอนการตรวจสอบด้วยสายตาในโรงงานกรณีศึกษา 48
ภาพที่ 4.13 การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีรังสี (RT) จากหน่วยงานตรวจสอบ 49
ภาพที่ 4.14 ตำแหน่งแนวเชื่อมบนแท็งก์สำหรับการทดสอบ RT 50
ภาพที่ 4.15 การตั้งศูนย์แท็งก์และการติดตั้งแท็งก์กับช่วงล่าง 51
ภาพที่ 4.16 ผังพาเรโตของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 57
ภาพที่ 6.1 ขั้นตอนการตรวจการเชื่อมโลหะ 157
ภาพที่ 6.2 เอกสารการตรวจสอบการทำงานของช่างเชื่อม 158
ภาพที่ 6.3 เอกสารการตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องด้วยสายตา แบบฟอร์มการตรวจสอบส่วนที่ 2 160
ภาพที่ 6.4 ขั้นตอนการตรวจสอบการเชื่อมโลหะ ภายหลังการปรับปรุงฯ 163
ภาพที่ 6.5 ภาพรวมการสร้างตารางทักษะ (skill matrix) 164
ภาพที่ 6.6 หน้าต่างแรกของโปรแกรม 172
ภาพที่ 6.7 หน้าต่างของโปรแกรมขณะเปิดใช้งาน 172
ภาพที่ 6.8 ภาพรวมขั้นตอนการสร้างบทเรียน OPL 173
ภาพที่ 6.9 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง 176

ภาพที่ 7.1 ขั้นตอนการตรวจสอบข้อบกพร่องจากการเชื่อมด้วยสายตา ก่อนและหลังการปรับปรุง205
ภาพที่ 7.2 เปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนจากการทดสอบความรู้ช่างเชื่อมก่อนและหลังการฝึกอบรม
.....208
ภาพที่ 7.3 ตารางทักษะ skill matrix หลังการฝึกอบรมช่างเชื่อม.....211

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน อุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดด จึงมีความต้องการในการใช้สารเคมีอันตรายเพื่อเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น มีการขนส่งวัตถุอันตรายที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยวัตถุอันตราย เป็นวัตถุที่เป็นอันตรายทั้งต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อม เมื่อเกิดอุบัติเหตุไม่ว่าจะเป็นในขั้นตอนการขนส่ง การจัดเก็บ หรือการผลิต ย่อมสร้างความเสียหายทั้งสิ้น จากอุบัติเหตุของการขนส่งวัตถุอันตรายที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งของประเทศไทย พบว่า ความเสียหายนั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการเกิดอุบัติเหตุ เช่น หากรถบรรทุกพลิกคว่ำและเกิดการรั่วไหล อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ เกิดการระเบิดหรือเกิดการกัดกร่อนสร้างความเสียหายแก่พื้นที่ อาจส่งผลให้มีผู้เสียชีวิตและประชาชนบาดเจ็บ และอีกกรณี คือเมื่อเกิดอุบัติเหตุแล้วภาชนะมีความแข็งแรงไม่แตกร้าวหรือรั่วซึมไม่มีการรั่วไหลวัตถุอันตรายออกมา ความเสียหายเกิดขึ้นเพียงแค่ทรัพย์สินหรือตัวรถบรรทุกเสียหายเท่านั้น การแตกร้าวของภาชนะบรรจุนี้จึงอาจกล่าวได้ว่า เกิดจาก

- การกระแทกหรือการตกกระทบที่แรงเกินขีดจำกัดของภาชนะบรรจุ
- ภาชนะบรรจุไม่มีคุณภาพ จึงทำให้เกิดการแตกของแท็งก์และเกิดการรั่วไหลได้ง่าย

โดยสาเหตุแรก คือ การกระแทกหรือการตกกระทบของภาชนะบรรจุเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดอุบัติเหตุเป็นสาเหตุที่ผู้ประกอบการในระบบการขนส่งสามารถควบคุมได้ยาก แต่สาเหตุที่สองในด้านคุณภาพของภาชนะเป็นสาเหตุที่ผู้ประกอบการสามารถควบคุมได้ คือ ภาชนะบรรจุที่ใช้ในการขนส่งต้องมีความคงทนแข็งแรงผ่านการทดสอบคุณภาพตามข้อกำหนด และสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของภาชนะบรรจุ โดย (สำนักควบคุมวัตถุอันตราย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม 2547) ได้มีการจัดทำ “ข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนนของประเทศไทย” ซึ่งเป็นข้อกำหนดสำหรับการบริหารจัดการในด้านมาตรฐานความปลอดภัยในกระบวนการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนน ที่มีการนำหลักเกณฑ์ในข้อตกลงว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายระหว่างประเทศทางถนนของคณะกรรมาธิการเศรษฐกิจแห่งยุโรปภายใต้สหประชาชาติ (European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, ADR) มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมไทยและสอดคล้องกับแนวโน้มการขนส่งวัตถุอันตรายภายใต้ข้อตกลงว่าด้วยการขนส่งผ่านดินแดนอาเซียนเมื่อมีการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน เพื่อให้การขนส่งวัตถุอันตรายเกิดความเป็นระบบแบบแผนและเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิด

อุบัติเหตุและสร้างความปลอดภัยในการขนส่งมากยิ่งขึ้น โดยในข้อกำหนดการขนส่งจะครอบคลุมตั้งแต่ บรรจุภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการขนส่ง การสร้างและการทดสอบบรรจุภัณฑ์ ขั้นตอนการนำส่งวัตถุอันตราย และรวมไปถึงพนักงานขับรถ อุปกรณ์การปฏิบัติงานและระบบเอกสาร เป็นต้น จากข้อกำหนดต่างๆ ในระบบการขนส่งวัตถุอันตรายทางถนนทำให้ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งเกิดความตระหนักที่จะพัฒนาให้การปฏิบัติงานในองค์กรของตนเป็นไปตามและอยู่ภายใต้ข้อกำหนดดังกล่าว

สำหรับภาชนะบรรจุวัตถุอันตรายเพื่อการขนส่งทางบก สิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญคือความปลอดภัยซึ่งมาจากการมีคุณภาพของภาชนะบรรจุ ภาชนะบรรจุวัตถุอันตราย หมายถึง ภาชนะปิดและองค์ประกอบอื่นๆ หรือวัสดุที่จำเป็น ที่ใช้สำหรับบรรจุวัตถุอันตรายเพื่อการขนส่งโดยจะต้องมีคุณภาพ มีการป้องกันการเกิดการรั่วไหลของวัตถุอันตรายขณะที่ทำการขนส่ง จึงทำการพิจารณาที่ภาชนะบรรจุที่สำคัญและมีการใช้ในงานขนส่งนั่นคือ แท็งก์ (tank) ที่ประกอบเข้ากับตัวรถบรรทุกหรือที่เรียกว่า แท็งก์ติดตรึง (fixed tank) เป็นแท็งก์ที่ทำขึ้นสำหรับบรรจุวัตถุอันตรายซึ่งติดตรึงกับตัวรถอย่างมั่นคงและแข็งแรงและมีความจุมากกว่า 3,000 ลิตร ตามที่ “ประกาศมติคณะกรรมการสารเคมีอันตราย เรื่องการขนส่งสารเคมีอันตรายทางบก พ.ศ. 2545” ได้ประกาศไว้เกี่ยวกับกระบวนการผลิตแท็งก์ต้องคำนึงถึงคุณภาพ และก่อนที่จะนำมาใช้งานจริงต้องผ่านการตรวจสอบและทดสอบสภาพของแท็งก์จากหน่วยงานอิสระ (inspection body) และได้รับการรับรองจากหน่วยงานของรัฐ หากพบว่าแท็งก์ที่ตรวจสอบไม่ผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานจะต้องดำเนินการปรับปรุงแก้ไขแท็งก์และทำการตรวจสอบและทดสอบอีกครั้ง จนกว่าจะเป็นไปตามข้อกำหนดและได้รับการรับรอง ผู้ผลิตแท็งก์จึงให้ความตระหนักถึงคุณภาพในกระบวนการผลิตเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทำการศึกษาขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตแท็งก์ประเภทแท็งก์ติดตรึงสำหรับบรรจุวัตถุอันตราย ประเภทสารกัดกร่อน รหัสแท็งก์ L4BN ของโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง (แสดงแท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุกดังภาพที่ 1.1) พบว่า การผลิตแท็งก์มีขั้นตอนทั้งหมด 14 ขั้นตอน ขั้นตอนสำคัญที่เกี่ยวกับข้องกับคุณภาพแท็งก์และความปลอดภัยในการใช้งาน คือ ขั้นตอนการตรวจสอบและรับรองคุณภาพแท็งก์ ซึ่งเป็นขั้นตอนทดสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing: NDT) โดยในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ มีการทดสอบ NDT 2 ครั้ง คือ ครั้งที่ 1 เป็นการทดสอบโดยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT) และ ครั้งที่ 2 เป็นการทดสอบ NDT 3 ประเภท ได้แก่ ทดสอบหารอยรั่วของแท็งก์โดยการใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Test) การทดสอบความหนาด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM) และการทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Test, PT) การทดสอบ NDT ดังกล่าวเป็นการทดสอบโดยหน่วยงานตรวจสอบ

(inspection body) เป็นหน่วยงานอิสระที่ได้รับการรับรองให้สามารถทำการตรวจสอบและทดสอบคุณภาพแท็งก์ได้โดยพนักงานเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานรัฐ โดยแท็งก์ทุกลูกที่ผ่านกระบวนการผลิตจะต้องผ่านการรับรองการทดสอบ NDT ก่อนแล้วจึงดำเนินเรื่องเพื่อขอรับการรับรองการใช้งานแท็งก์จากกรมโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการศึกษาปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา พบว่ามีแท็งก์เป็นจำนวนมากไม่ผ่านการการทดสอบ NDT แสดงข้อมูลดังตารางที่ 1.1 โดยมีการเกิดลักษณะข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเป็นผลทำให้แท็งก์ไม่มีคุณภาพจึงไม่ผ่านการอนุมัติรับรองจากหน่วยงานตรวจสอบ ซึ่งส่งผลให้ทางโรงงานฯ ต้องมีต้นทุนการผลิตแท็งก์ที่สูงขึ้นจากการนำแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ NDT กลับมาซ่อมแซมแก้ไข และค่าใช้จ่ายในด้านวัสดุ อุปกรณ์และค่าแรงพนักงานก็เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาการส่งมอบแท็งก์ให้ลูกค้าล่าช้า ซึ่งมีผลต่อความน่าเชื่อถือของโรงงานฯ อีกด้วย

ภาพที่ 1.1 แท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.1 จำนวนแท็งก์ที่ไม่ผ่านทดสอบ NDT ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึง เดือนพฤษภาคม 2556

ปี พ.ศ.	จำนวนแท็งก์ที่ผลิต (ลูก)	ไม่ผ่านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (ลูก)		รวมจำนวนแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ (ลูก)	สัดส่วนแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ (%)
		RT	Hydrostatic Test		
2553	25	15	1	15	60.00
2554	24	20	1	20	83.33
2555	13	7	-	7	53.83
ม.ค. - พ.ค. 2556	15	6	1	6	40.00

จากตารางที่ 1.1 พบว่า จากการผลิตแท็งก์ของโรงงานฯ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 จนถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2556 มีจำนวนแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบ NDT เป็นสัดส่วนที่สูง แท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบโดยใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Test) ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 ลูกในตารางดังกล่าวเป็นแท็งก์ลูกเดียวกับแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบโดยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT) ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสาเหตุที่ทำให้แท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบ NDT ทั้ง 2 ประเภท คือ การทดสอบโดยวิธีรังสีและการทดสอบโดยแรงดันน้ำ พบว่ามีสาเหตุมาจากแท็งก์มีข้อบกพร่องบริเวณแนวเชื่อมของรอยต่อระหว่างแผ่นโลหะกับแผ่นโลหะ และรอยต่อระหว่างแผ่นโลหะกับอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวแท็งก์ ได้แก่ ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ แนวเชื่อมมีรอยแตก แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม และแนวเชื่อมมีรอยกัดแหว่ง เป็นต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการทำงานของแต่ละขั้นตอนในการผลิตแท็งก์ เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของแท็งก์ จากนั้นทำการกำหนดมาตรการแก้ไขและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ เพื่อลดจำนวนของเสียหรือสัดส่วนข้อบกพร่องที่ทำให้แท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบคุณภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตรายประเภท สารกัดกร่อน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ทำการศึกษากระบวนการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย รหัสแท็งก์ L4BN (แสดงข้อมูลเกี่ยวกับแท็งก์ L4BN ในภาคผนวก ก)
2) ทำการศึกษากระบวนการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย โดยเป็นแท็งก์ประเภทที่ติดตรึงแนวนอนสำหรับรถบรรทุก
3) การศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต ไม่รวมถึงขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพโดยหน่วยงานตรวจสอบ
4) สรรพนามที่ใช้ในการเรียกจำนวนแท็งก์คือ ลูก

1.4 การวัดผลการวิจัย

1) ได้แผนคุณภาพ (quality plan) ของกระบวนการผลิตแท็งก์
2) สัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลดลง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สัดส่วนของแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบแบบไม่ทำลายลดลง
2) สัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแท็งก์ลดลง ส่งผลให้ระยะเวลาในการผลิตแท็งก์ลดลงด้วย
3) ได้มาตรฐานในการควบคุมปัจจัยคุณภาพต่างๆ ภายในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพแท็งก์
4) เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการปรับปรุงคุณภาพในสถานประกอบการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตรายประเภทอื่นๆ

1.6 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) การค้นคว้าหลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง
2) การศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในด้านคุณภาพของแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย
3) การศึกษากระบวนการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย และกำหนดขั้นตอนคุณภาพที่มีผลต่อคุณภาพของแท็งก์
4) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องในแต่ละขั้นตอนคุณภาพของกระบวนการผลิตแท็งก์ โดยใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Analysis) และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) จากนั้นคำนวณดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number, RPN) เพื่อคัดกรองสาเหตุของข้อบกพร่องที่จำเป็นต้องปรับปรุงแก้ไข
5) การกำหนดวิธีการและแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกิจกรรมคุณภาพของกระบวนการผลิตแท็งก์
6) การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากข้อ 4) และ 5) จัดทำเป็นแผนคุณภาพ (quality plan) สำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์
7) การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ โดยใช้แผนคุณภาพเป็นกรอบในการปรับปรุง
8) การรวบรวมและประเมินผลลัพธ์จากการปรับปรุงคุณภาพ
9) การสรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ
10) การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 คำนิยาม

1) คำว่า สารเคมีอันตรายและวัตถุอันตราย ในงานวิจัยนี้ คือ สารหรือวัตถุที่อาจทำให้เกิดอันตราย แก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์ และสิ่งแวดล้อม

2) คุณภาพแท็งก์ หรือ แท็งก์ที่มีคุณภาพ หมายถึง แท็งก์ที่มีคุณลักษณะตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนด การได้รับการรับรองการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย การเลือกใช้วัสดุที่ถูกต้องและเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

3) ขั้นตอนการผลิตแท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุก หมายถึง ขั้นตอนการผลิตตั้งแต่การเตรียมแผ่นโลหะ การเชื่อมโลหะ ไปจนถึงขั้นตอนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ซึ่งได้ออกมาเป็นแท็งก์ที่มีคุณภาพที่ติดตรึงอยู่บนรถบรรทุก

4) ขั้นตอนการผลิตแท็งก์ หมายถึง ขั้นตอนการผลิตตัวแท็งก์ ตั้งแต่การเตรียมแผ่นโลหะ การเชื่อมโลหะ และขั้นตอนหลังการทดสอบคุณภาพด้วยวิธีรังสี (RT) (กรณีแท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบ) โดยเป็นการผลิตเฉพาะตัวแท็งก์ที่มีคุณภาพ

5) ขั้นตอนคุณภาพ หมายถึง ขั้นตอนการทำงานในการผลิตแท็งก์ ที่เป็นส่วนสำคัญและมีผลต่อการมีคุณภาพของแท็งก์

6) ลักษณะคุณภาพ (quality characteristics) คือ ลักษณะหรือคุณสมบัติที่กำหนดถึงการมีคุณภาพของสินค้าหรือบริการ ตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานสินค้าหรือบริการ

7) แท็งก์ต้นแบบ หมายถึง แท็งก์ที่ได้รับการรับรอง/อนุมัติจากกรมโรงงานฯ ว่าเป็นแท็งก์ที่ผ่านการออกแบบด้านโครงสร้างและอุปกรณ์ การผลิต การตรวจสอบและทดสอบอย่างถูกต้อง เพื่อเป็นต้นแบบของแท็งก์ที่ถูกต้อง นำไปสู่การผลิตแท็งก์จริง

8) ใบรับรองสินค้า (mill certification) หมายถึง เอกสารที่แนบมาพร้อมกับผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิต ภายในเอกสารจะบอกถึงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชนิด ความหนา เกรด และ Heat no. เป็นต้น เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้รับการรับรองและเป็นไปตามมาตรฐาน

9) ลวดเชื่อมหรือลวดเติม (filler rod) โลหะที่มีลักษณะเป็นแท่งยาว มีหน้าที่ในการป้อนหรือเติมให้กับรอยเชื่อมหรือแนวเชื่อม ในขณะที่ดำเนินการเชื่อมโลหะโดยไม่มีความเกี่ยวข้องใดๆ กับขั้วไฟฟ้า ลวดเติมตามมาตรฐาน AWS มีหลายชนิด การเลือกนำมาใช้ในการเชื่อมจะขึ้นอยู่กับประเภทของโลหะที่ทำการเชื่อม ความหนาของโลหะ และชนิดและขนาดของรอยต่องานเชื่อม

10) แชสซีส์ (chassis) คือ ส่วนที่เป็นช่วงล่างที่ยึดกับตัวแท็งก์ สำหรับการรองรับน้ำหนักของแท็งก์และอุปกรณ์ต่างๆ การติดตั้งด้วยการเชื่อมต่อกับตัวรถบรรทุก

11) การรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม (Welder Qualification Test, WQT) หมายถึง ช่างเชื่อมโลหะที่ผ่านการทดสอบด้านความรู้และทักษะในการเชื่อมโลหะงานของช่างเชื่อม

12) หน่วยงานตรวจสอบ (inspection body) คือหน่วยงานตรวจสอบและทดสอบอิสระซึ่งได้รับการรับรองให้สามารถทำการตรวจสอบและทดสอบคุณภาพแท็งก์ได้ โดยพนักงานเจ้าหน้าที่

13) อุปกรณ์ใช้งาน (service equipment) คือ อุปกรณ์สำหรับบรรจุและจ่ายออก อุปกรณ์ระบาย อุปกรณ์นิรภัย อุปกรณ์ให้ความร้อนและฉนวนความร้อน และอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดต่างๆ ที่ติดตั้งบนตัวแท็งก์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้ ได้ทำการค้นคว้าและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นความรู้ในการสนับสนุนสำหรับการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ โดยทฤษฎีที่ทำการศึกษามีดังนี้

1) วัตถุอันตรายและภาชนะบรรจุ
2) การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT)
3) ทฤษฎีคุณภาพและการปรับปรุงคุณภาพ (quality improvement)
4) ทฤษฎีความแปรผัน (variation) ในกระบวนการผลิต
5) ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง
6) ทฤษฎีการฝึกอบรม (training system)
7) ทฤษฎีการเชื่อมโลหะ (welding)
8) รูปแบบการถ่ายทอดความรู้เฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL)
9) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุอันตรายและภาชนะบรรจุ

ตามพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 (มาตรา 4) ได้ให้คำจำกัดความสำหรับวัตถุอันตรายไว้ว่า “วัตถุอันตราย คือ วัตถุระเบิดได้ วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์และวัตถุเปอร์ออกไซด์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง และวัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตราย แก่บุคคล สัตว์พืช ทรัพย์ และสิ่งแวดล้อม” โดย (ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มติคณะกรรมการวัตถุอันตราย 2545) ได้จำแนกวัตถุอันตรายไว้ 9 ประเภท ดังนี้

1) วัตถุอันตรายประเภทที่ 1: สารและสิ่งของระเบิด
2) วัตถุอันตรายประเภทที่ 2: ก๊าซ ประกอบด้วยก๊าซอัด
3) วัตถุอันตรายประเภทที่ 3: ของเหลวไวไฟ
4) วัตถุอันตรายประเภทที่ 4: ของแข็งไวไฟ
5) วัตถุอันตรายประเภทที่ 5: สารออกซิไดซ์

6) วัตถุอันตรายประเภทที่ 6: สารพิษและสารติดเชื้อ
7) วัตถุอันตรายประเภทที่ 7: วัสดุกัมมันตรังสี
8) วัตถุอันตรายประเภทที่ 8: สารกัดกร่อน
9) วัตถุอันตรายประเภทที่ 9: วัตถุอันตรายอื่นๆ

สำหรับรายละเอียดได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ข สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาในกระบวนการผลิตแท็งก์ที่บรรจุวัตถุอันตรายประเภทที่ 8 คือ สารกัดกร่อน โดยสารกัดกร่อน หมายถึง สารเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี สร้างความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อมีการสัมผัสกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือ หากเกิดการรั่วไหลจะเกิดความเสียหายต่อวัสดุ พาหนะขนส่ง เป็นต้น

นอกจากนี้ วัตถุอันตรายยังสามารถแยกตามความจำเป็นแก่การควบคุมได้ 4 ชนิด

1) วัตถุอันตรายชนิดที่ 1 คือ วัตถุอันตรายที่ในการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง จะต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดตามประกาศของรัฐมนตรีผู้รับผิดชอบ
2) วัตถุอันตรายชนิดที่ 2 คือ วัตถุอันตรายที่ในการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง จะต้องทำการแจ้งให้เจ้าพนักงานทราบก่อนและต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการตามประกาศของรัฐมนตรีผู้รับผิดชอบ
3) วัตถุอันตรายชนิดที่ 3 คือ วัตถุอันตรายที่ในการผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครอง จะต้องได้รับอนุญาตจากพนักงานเจ้าหน้าที่และต้องปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และวิธีการตามประกาศของรัฐมนตรีผู้รับผิดชอบ
4) วัตถุอันตรายชนิดที่ 4 คือ วัตถุอันตรายที่ห้ามมิให้มีการผลิต การนำเข้า การส่งออกหรือการมีไว้ในครอบครอง

สำหรับภาชนะที่ใช้สำหรับการบรรจุวัตถุอันตราย สามารถบ่างได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

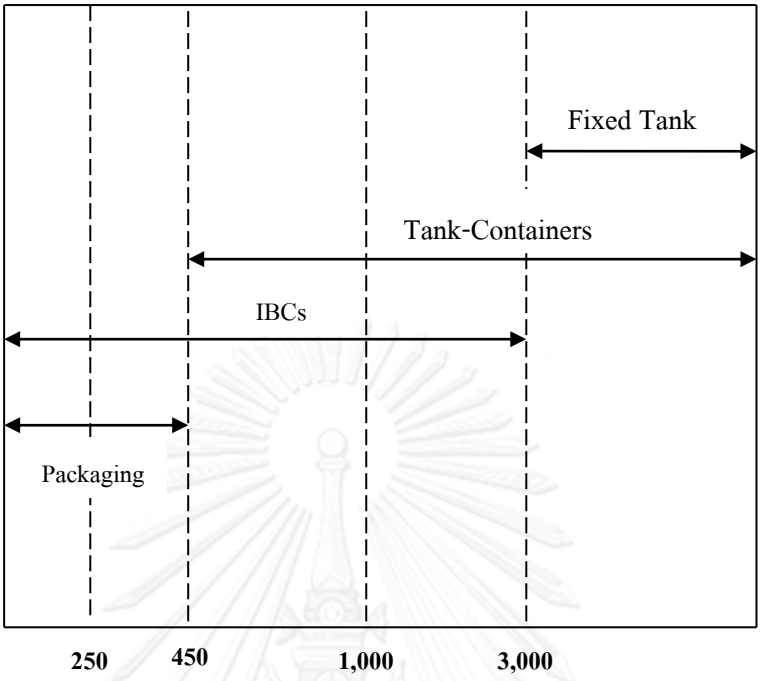
1) บรรจุภัณฑ์ (packaging) หมายถึง ภาชนะปิด และองค์ประกอบอื่นๆ หรือวัสดุที่จำเป็นเพื่อให้ภาชนะปิดนั้นสามารถทำหน้าที่ปกปิดสิ่งที่บรรจุได้อย่างมิดชิด มีขนาดบรรจุน้อยกว่า 450 ลิตร หรือ 400 กิโลกรัม โดยในการบรรจุสามารถแบ่งกลุ่มการบรรจุ (packing groups) ได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้
    - กลุ่มการบรรจุที่ I สำหรับวัตถุอันตรายที่มีความเป็นอันตรายสูง
    - กลุ่มการบรรจุที่ II สำหรับวัตถุอันตรายที่มีความอันตรายปานกลาง
    - กลุ่มการบรรจุที่ III สำหรับวัตถุอันตรายที่มีความอันตรายน้อย

โดยบรรจุภัณฑ์ จะใช้สำหรับบรรจุวัตถุอันตรายประเภทของเหลวไวไฟ, ของแข็งไวไฟ, สารออกซิไดซ์, สารพิษ และสารกัดกร่อน

2) บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่ IBCs (Intermediate Bulk Containers) คือ ภาชนะบรรจุที่มีความแข็งหรือยืดหยุ่น ออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ด้วยเครื่องจักร ทนได้กับทุกสภาวะในขณะขนส่ง มีลักษณะดังนี้
    - บรรจุสินค้าอันตรายไม่เกิน 3.0 ลูกบาศก์เมตร สำหรับของแข็งที่อยู่ในกลุ่มการบรรจุที่ I และ II
    - บรรจุสินค้าอันตรายไม่เกิน 1.5 ลูกบาศก์เมตร สำหรับของแข็งที่อยู่ในกลุ่มการบรรจุที่ I ในภาชนะพลาสติกอ่อนหรือพลาสติกแข็ง
    - บรรจุสินค้าอันตรายไม่เกิน 3.0 ลูกบาศก์เมตร สำหรับของแข็งที่อยู่ในกลุ่มการบรรจุที่ I ในภาชนะโลหะ
3) แท็งก์ (tank) คือภาชนะที่มีขนาดความจุมากกว่า 450 ลิตร หรือ 400 กิโลกรัม สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หลังจากได้รับการตรวจสอบและทำความสะอาดแล้ว แบ่งได้เป็น 3 ประเภทได้แก่
    - แท็งก์ที่ยกและเคลื่อนที่ได้ (demountable tank) สามารถยกหรือเคลื่อนย้ายได้โดยอิสระ ไม่ติดตรึงกับตัวรถ
    - แท็งก์คอนเทนเนอร์ (tank-containers) เป็นแท็งก์ที่สามารถบรรจุเข้าไว้ในตู้สินค้าได้
    - แท็งก์ติดตรึง (fixed tank) เป็นแท็งก์ที่มีการยึดติดตรึงกับตัวรถบรรทุก มีขนาดความจุมากกว่า 3,000 ลิตร

ภาพรวมของขนาดของภาชนะบรรจุวัตถุอันตราย แสดงดังภาพที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 2.1 ภาชนะบรรจุขนาดต่างๆ

2.2 การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT)

การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพหรือการประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการผลิต ซึ่ง NDT เป็นกรรมวิธีทางวิศวกรรมในการทดสอบคุณสมบัติของวัตถุ ชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามมาตรฐานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ (ฟูจิอิ ซาโตะ 2530) NDT เหมาะสำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ที่ไม่คุ้มค่าต่อการทดสอบแบบทำลาย โดยการทดสอบ NDT นี้จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการทดสอบ นอกจากนี้ NDT ยังเป็นวิธีการทดสอบที่มีบทบาทในด้านงานซ่อมบำรุง งานก่อสร้าง หรือด้านการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุอีกด้วย การทดสอบ NDT มีกลายวิธีการ การเลือกใช้ NDT ในการทดสอบขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพ ลักษณะ ขนาด และวัตถุประสงค์ของการทดสอบ นอกจากนี้การทดสอบบางผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องใช้วิธีการทดสอบ NDT หลายวิธีประกอบกัน สำหรับการทดสอบคุณภาพแท็งก์บรรจุวัตถุอันตรายในงานวิจัยนี้ มีการใช้วิธีการทดสอบ NDT คือ การทดสอบโดยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT) การทดสอบโดยการใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Testing) การทดสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM) และการทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing, PT) โดยแต่ละวิธีการทดสอบสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) การทดสอบโดยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT)

การทดสอบโดยวิธีรังสี เป็นการทดสอบเพื่อตรวจหารอยบกพร่องหรือการตรวจโครงสร้างภายในวัตถุที่มีลักษณะทึบแสง โดยใช้วิธีการถ่ายภาพโดยตรง โดยรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากเครื่องกำเนิด จะถูกยิงผ่านวัตถุที่ทำการทดสอบ ไปตกกระทบบนแผ่นฟิล์มที่วางอยู่ด้านหลังวัตถุนั้น ได้ออกมาเป็นภาพถ่านบนแผ่นฟิล์มที่มีขนาดเท่ากับขนาดของวัตถุที่ทำการทดสอบ สำหรับชนิดและขนาดของฟิล์มที่นำมาใช้ในการทดสอบขึ้นอยู่กับความหนา ชนิดและประเภทของวัตถุ

2) การทดสอบโดยการใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Test)

การทดสอบโดยใช้แรงดันน้ำ เป็นการทดสอบเพื่อทดสอบหารอยรั่วซึมที่ตัวแท็งก์อุปกรณ์ใช้งานต่างๆ และระบบท่อของแท็งก์ โดยการใช้แรงดันน้ำตามค่าความดันคำนวณที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยความดันคำนวณ (calculation pressure) คือ ค่าความดันทางทฤษฎีโดยอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับความดันทดสอบซึ่งขึ้นอยู่กับความเป็นอันตรายของสารที่จะทำการบรรจุ และต้องมีค่ามากกว่าความดันใช้งาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบค่าความดันจ่ายของอุปกรณ์ใช้งานและระบบท่อ ความดันบรรจุของแท็งก์และความดันใช้งานสูงสุด ซึ่งจะต้องเป็นไปตามค่าความดันที่ได้คำนวณไว้เป็นการทดสอบแท็งก์

3) การทดสอบด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM)

การทดสอบด้วยคลื่นความถี่สูง เป็นการทดสอบโดยการใช้คลื่นเสียง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความหนาของวัตถุหรือโลหะ หลักการของการตรวจสอบ คือ การใช้หลักการของคลื่นความถี่สูง ส่งผ่านไปยังแผ่นโลหะในตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ แล้วจึงอาศัยคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับจากการกระทบกับแผ่นโลหะเพื่อนำมาคำนวณความหนาของแผ่นโลหะ สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจสอบจะต้องผ่านการปรับเทียบ (calibration) ให้มีความเที่ยงตรงตามมาตรฐาน

4) การทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing, PT)

การทดสอบด้วยสารแทรกซึม เป็นการทดสอบเพื่อหาลักษณะข้อบกพร่องใดๆ บนผิวของวัตถุ โดยทดสอบด้วยสารแทรกซึมจะเป็นการทดสอบในรูปของการใช้ สารแทรกซึม (liquid penetrant) ซึ่งสารแทรกซึมจะทำการแทรกซึมเข้าไปในรอยบกพร่องที่มีลักษณะเป็นโพรงหรือช่องว่างของวัตถุ อาศัยหลักการของการแทรกซึมเข้าช่องว่างขนาดเล็ก จากนั้นทำการกำจัดสารแทรกซึมส่วนเกินที่อยู่ตามผิวภายนอกของวัตถุออก แล้วใช้สารดูดซับ (washing agent) ทำหน้าที่ดูดจับกับสารแทรกซึมที่ตกค้างออก จะทำให้สามารถตรวจพบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้

2.3 ทฤษฎีคุณภาพและการปรับปรุงคุณภาพ (quality improvement)

การปรับปรุง (improvement) คือ การเพิ่มศักยภาพหรือการยกระดับเป้าหมายให้สูงขึ้น โดยการปรับปรุงจะเริ่มจากการทบทวนผลการทำงานที่ผ่านมา และวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการดำเนินงานใหม่เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้ (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2550)

การปรับปรุงกระบวนการผลิต จะเริ่มจากการทราบความต้องการหรือความจำเป็นของลูกค้า เพื่อที่ผู้ประกอบการจะต้องทำการวางแผนและพัฒนากระบวนการผลิตให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า เพื่อให้บรรลุเป้าหมายด้านคุณภาพใหม่ ที่ได้วางไว้

การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการมีวิธีหรือแนวทางในการดำเนินการ คือ

1) การเสนอหรือบ่งชี้หรือจัดทำโครงการเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งเป็นงานที่ได้จากการดำเนินการสำรวจปัญหาที่เกิดขึ้นภายในองค์กร เช่น การเกิดปัญหาข้อบกพร่อง การเกิดปัญหาความผิดพลาดจากการทำงาน เป็นต้น
2) การจัดตั้งทีมงานเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ
3) การวิเคราะห์ ประเมิน หรือวินิจฉัย รากของปัญหาที่เกิดขึ้น
4) การเสนอ กำหนด หรือออกแบบมาตรการในการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ
5) การทบทวนถึงความมีประสิทธิภาพของมาตรการการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพ
6) การดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ
7) การประเมินผลลัพธ์ของการปรับปรุง รวมถึงแรงต่อต้านที่อาจเกิดขึ้นจากพนักงานในองค์กรที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงระบบการทำงาน
8) การจัดทำการปรับปรุงคุณภาพให้เกิดขึ้นเป็นอย่างระบบ โดยการสร้างระบบควบคุมการทำงานเพื่อให้คุณภาพในการทำงานอยู่ในกรอบคุณภาพที่องค์กรต้องการ

คุณภาพในอุตสาหกรรมมีมิติของการมอง 9 มิติ ได้แก่

1) สมรรถภาพ (performance) หมายถึง การมีลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์นั้นๆ
2) ลักษณะเด่น (feature) หมายถึง การมีลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพิ่มเติมขึ้นมาเป็นลำดับที่ 2
3) ผลิตได้ตามมาตรฐาน (conformance) หมายถึง การผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องตรงตามรายละเอียดของมาตรฐานอุตสาหกรรม
4) ความน่าเชื่อถือ (reliability) หมายถึง สอดคล้องกับสมรรถภาพของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาที่ใช้งาน
5) ความทนทาน (durability) หมายถึง การมีอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์ยาวนานตามมาตรฐาน

6) การบริการ (service) หมายถึง ผู้ผลิตสามารถให้การแก้ไขปัญหาหรือรับเรื่องของการร้องทุกข์ได้อย่างรวดเร็ว
7) การโต้ตอบ (response) หมายถึง การให้ความสะดวกสบายและความเป็นกันเองกับลูกค้า
8) สุนทรียศาสตร์ (aesthetics) หมายถึง การมีลักษณะเฉพาะด้านที่ดีในด้านความรู้สึกต่อลูกค้า
9) ชื่อเสียง (reputation) หมายถึง การมีการกล่าวถึงตัวผลิตภัณฑ์จากสังคมในแง่ดี

2.4 ทฤษฎีความแปรผัน (variation) ในกระบวนการผลิต

ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมต่างๆ มักพบของเสียหรือสิ่งที่ผิดปกติไปจากมาตรฐานหรือข้อกำหนด ซึ่งมีสาเหตุมาจากความแปรผัน (variation) ในกระบวนการผลิต โดยส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากปัจจัยสำคัญ 6 อย่าง ได้แก่

1) ความบกพร่องจากการกระทำของบุคคล (man-made error) เป็นความบกพร่องเกิดจากการขาดความชำนาญ หรือการขาดความตระหนัก สามารถแก้ไขความบกพร่องดังกล่าวด้วยการฝึกอบรมพนักงานในกระบวนการผลิต
2) เครื่องจักรกล (machinery) เป็นความบกพร่องจากการเกิดการสึกหรอ เสื่อมสภาพ ของเครื่องจักรกล อันเนื่องมาจากการใช้งานมาเป็นระยะเวลา สามารถแก้ไขได้โดยการซ่อมบำรุงรักษา
3) วิธีการทำงาน (method of work) เป็นความบกพร่องจากวิธีการทำงานที่แตกต่างกันภายใต้สภาวะการผลิตที่เหมือนกัน สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ด้วยการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน
4) วัตถุดิบ (material) หมายถึง ความผิดพลาดของการนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต สามารถแก้ไขได้ด้วยการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ
5) เครื่องมือวัด (measurements) เป็นความบกพร่องที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด สามารถแก้ไขได้ด้วยการสอบเทียบเครื่องมือ
6) สภาพแวดล้อมในการผลิต (environment) เป็นความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมขณะปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต

การแปรผันในกระบวนการผลิตมีทั้งจากสาเหตุที่เราควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ สำหรับสาเหตุของความผันแปรที่ควบคุมได้ สามารถใช้หลักการของการควบคุมคุณภาพ (quality control) เพื่อให้ของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการมีปริมาณลดลง โดยขั้นตอนของการควบคุมได้แก่

1) การระบุปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตให้ชัดเจน

2) การสำรวจกระบวนการหรือสังเกต เพื่อการสืบหาลักษณะจำเพาะของปัญหา
3) การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหา
4) การดำเนินการกำจัดสาเหตุแห่งปัญหา
5) การตรวจสอบติดตามกระบวนการ เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าปัญหาได้รับการแก้ไขและการป้องกัน เพื่อไม่ให้ปัญหาขึ้นซ้ำอีก
6) การจัดทำมาตรการสำหรับการป้องกันปัญหาการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนการผลิต เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงาน
7) การสรุปผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อการควบคุมคุณภาพ

สำหรับการควบคุมคุณภาพของการผลิต จะใช้วิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control, SPC) เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา ได้แก่ เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC tools) ซึ่งจะทำการอธิบายในหัวข้อ 2.5

2.5 ทฤษฎีเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง เป็นเครื่องมือในวิธีการทางสถิติ ของการควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต ประกอบไปด้าย ใบตรวจสอบ (check sheet), แผนภาพลำต้นและใบไม้ (stem and leaf diagram), แผนภาพพาเรโต (pareto chart), ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram), แผนภูมิควบคุม (control chart), แผนภาพการกระจาย (scatter diagram) และกราฟ (graph)

สำหรับการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้ ใบตรวจสอบสำหรับรวบรวมข้อมูลสภาพปัญหาจากกระบวนการผลิตเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง แล้วใช้แผนภาพพาเรโตในการคัดเลือกข้อบกพร่องจากกระบวนการผลิต เพื่อมาวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล แล้วทำการคัดเลือกสาเหตุเพื่อมาดำเนินการแก้ไข ดังนั้นในส่วนนี้จะทำการกล่าวถึงและอธิบายเครื่องมือคุณภาพเพียง 3 อย่าง ได้แก่ ใบตรวจสอบ แผนภาพพาเรโต และผังแสดงเหตุและผล

2.6 ทฤษฎีการฝึกอบรม (training system)

ระบบการฝึกอบรม คือ ระบบการจัดการเรียนรู้เพื่อสร้างและเพิ่มพูนความรู้ (knowledge) ทักษะ (skill) ความสามารถ (ability) และเจตคติ (attitude) ของพนักงานในองค์กร ซึ่งจะช่วยปรับปรุงการทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (ดุสิต ขาวเหลือง 2554)**2.7 ทฤษฎีการเชื่อมโลหะ (welding)**

แท็งก์บรรจุวัตถุอันตรายจะต้องให้ความสำคัญต่อรอยเชื่อม เพราะเมื่อทำการบรรจุแล้วอาจจะเกิดความดันและเกิดการรั่วซึมหรือแตกได้โดยง่ายซึ่งในการผลิตแท็งก์มีการเชื่อม 2 แบบ (สมชัย เถาสมบัติ 2529) คือ การเชื่อมอาร์กทังสเตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (Gas Tungsten Arc Welding, GTAW) หรือการเชื่อม TIG และ การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (Shielded Metal Arc Welding, SMAW) หรือการเชื่อม MIG สำหรับการเชื่อม TIG เป็นการเชื่อมต่อโลหะที่เกิดจากความร้อนระหว่างแท่งอิเล็กโทรดทังสเตนและโลหะชิ้นงาน ส่วนการเชื่อม MIG เป็นการใช้ความร้อนเชื่อมต่อโลหะเช่นเดียวกันกับการเชื่อม TIG แต่เป็นความร้อนที่เกิดจากการอาร์ก ระหว่างลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์กับโลหะชิ้นงาน โดยลวดเชื่อมทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าและเป็นโลหะที่หลอมละลายเติมเข้าไปในแนวเชื่อม การเชื่อมที่ไม่เป็นไปตามขั้นตอนหรือการเลือกใช้ปัจจัยไม่เหมาะสม เช่น การเลือกประเภทรอยต่อหรือกระแสไฟที่ไม่เหมาะสมกับประเภทโลหะทำให้การเชื่อมไม่ได้คุณภาพ เกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อม เช่น รูพรุน รอยแตก และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

การเชื่อมมี 3 แบบ การเชื่อมด้วยมือ (manual welding) การเชื่อมกึ่งอัตโนมัติ (semi-automatic welding) และการเชื่อมแบบอัตโนมัติ (automatic welding)

2.8 รูปแบบการถ่ายทอดความรู้เฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL)

OPL เป็นรูปแบบการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้จากบุคคลที่มีความชำนาญไปสู่อีกบุคคลหนึ่งเพื่อให้เกิดการพัฒนาภายในองค์กร เนื้อหาใน OPL ประกอบด้วยความรู้พื้นฐานที่สำคัญในขั้นตอนการทำงาน ตัวอย่างปัญหาการทำงานที่เคยเกิดขึ้นในอดีต หรือการปรับปรุงการทำงานที่ทำแล้วได้ผลเป็นต้น (พัทธ์ชลิต วีราภรณ์กุลและจิตรา รู้กิจการพานิช 2554) ได้ทำการวิจัยในอุตสาหกรรมการตัดเย็บเสื้อ พบปัญหาผลผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมาย จึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่า เกิดจากแรงงานคนมีสัญชาติพม่าเป็นส่วนใหญ่ไม่รู้วิธีการตัดเย็บผ้าที่ถูกต้อง และพบปัญหาในการสื่อสารระหว่างหัวหน้างานคนไทยกับแรงงานพม่า การแก้ไขปัญหาคือการใช้วิธีการทุกคนมีส่วนร่วมในการค้นหาสาเหตุของการเกิดของเสียและสร้าง OPL ในรูปแบบวีดิทัศน์เพื่อสอนขั้นตอนการทำงานที่ถูกวิธี ผลลัพธ์คือ ทั้งแรงงานไทยและพม่าสามารถเข้าใจในวิธีการทำงานที่ถูกต้องและลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลงได้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การศึกษาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากความไม่มีคุณภาพของแท็งก์บรรจุ

พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ได้นิยามความหมายของอุบัติเหตุไว้ คือ “อุบัติเหตุ หมายถึง เหตุที่เกิดโดยไม่ทันคิด ความบังเอิญเป็น เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยไม่ได้ตั้งใจ หรือไม่มีการคาดคิดมาก่อนและเป็นผลให้เกิดความเสียหายแก่ร่างกายหรือทรัพย์สิน ” ส่วนในวิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี ให้ความหมายว่า “อุบัติเหตุ หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่คาดหวังและไม่ตั้งใจในเวลาและสถานที่หนึ่ง เกิดขึ้นโดยไม่มีสิ่งบอกเหตุล่วงหน้าแต่มีสาเหตุและส่งผลกระทบที่สามารถชี้วัดได้” เมื่อกล่าวถึงอุบัติเหตุที่เกิดในระบบการขนส่ง ความปลอดภัยในการทำงานหรือการใช้งานถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุได้

สำหรับความปลอดภัยในการใช้งาน แท็งก์บรรจุวัตถุอันตราย เกิดขึ้นได้จากการใช้งานอย่างถูกวิธี และความมีคุณภาพและผ่านการตรวจสอบของตัวแท็งก์ ในการละเว้นหรือการละเลยการตรวจสอบคุณภาพแท็งก์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาจทำให้แท็งก์ที่ไม่มีคุณภาพและไม่ผ่านข้อกำหนดถูกนำไปใช้ในการขนส่ง ซึ่งจะเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดอุบัติเหตุ ซึ่งวัตถุอันตรายเกิดการรั่วไหลสู่ภายนอกและสร้างความเสียหายแก่ชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อมได้ โดยตัวอย่างอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการขนส่งและสร้างความเสียหาย มีดังนี้

1) อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในขนส่งวัตถุอันตรายจากการเลือกใช้อุปกรณ์ใช้งาน และระบบต่างๆไม่เหมาะสมกับสารที่ทำการบรรจุ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม 2553)

เหตุการณ์ที่เกิดขึ้น คือ กรดเกลือ หรือ hydrochloride acid ที่บรรทุกอยู่บนรถ เกิดการรั่วไหล เหตุการณ์เกิดขึ้นที่ จังหวัดอุดรธานี โดยมีสาเหตุมาจากน๊อตตัวล็อกวาล์วที่ก้นแท็งก์ขาดจากการกัดกร่อนของสาร ทำให้กรดเกลือรั่วไหลลงสู่พื้นถนนและกัดกร่อนถนนจนเป็นรู อีกทั้งต้นไม้ที่อยู่ริมถนนทำปฏิกิริยาและไหม้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ ควันและกลิ่นของกรดเกลือที่ทำปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้ชาวบ้านกว่า 10 คน มีอาการวิงเวียน คลื่นไส้ จึงต้องส่งโรงพยาบาล (ข้อมูลจากฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี)

อีกหนึ่งเหตุการณ์ คือ การระเบิดของรถขนส่งกรดซัลฟิวริก ที่จังหวัดสมุทรสาคร สาเหตุเกิดจากตัวแท็งก์บรรจุ ใช้ระบบระบายอากาศภายในแท็งก์แบบธรรมชาติ คือ ไม่มีระบบพัดลมเป่าหรือดูดออก ทำก๊าซที่มีสมบัติไวไฟอย่างก๊าซไฮโดรเจน (เป็นก๊าซที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกกับผนังแท็งก์ซึ่งเป็นเหล็กกล้า) ก๊าซไฮโดรเจนจึงรอยตัวออกมาจากแท็งก์และเมื่อเจอกับประกายไฟจึงเกิดการระเบิดทันที ทำให้มีผู้เสียชีวิต 1 คน บาดเจ็บสาหัสอีก 2 คน อีกทั้ง โรงซ่อมบำรุงก็ได้รับความเสียหายจากการระเบิดในครั้งนี้ (หนังสือ คู่มือสารเคมีอันตรายสูง กรดซัลฟิวริก)

บทสรุปมาตรการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจาก 2 เหตุการณ์นี้ คือ ในการบรรทุกวัตถุอันตรายที่มีคุณสมบัติเป็นสารกัดกร่อน การเลือกใช้อุปกรณ์ใช้งาน เช่น น๊อต วาล์ว ควรมีความเหมาะสมกับสาร อีกทั้งในการเลือกใช้ระบบอำนวยความสะดวกต่างๆในตัวแท็งก์ ก็ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติเฉพาะของสาร และปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นจากสารนั้นด้วย โดยการขนส่งวัตถุอันตรายประเภทสารกัดกร่อนนั้น ผนังแท็งก์และอุปกรณ์ใช้งาน ควรทำจาก เหล็กกล้าไร้สนิม ส่วนระบบการระบายอากาศภายในแท็งก์ต้องใช้ระบบพัดลมดูดหรือเป่าลม เพื่อช่วยในการไล่ก๊าซออกจากแท็งก์

2) อุบัติเหตุจากการผลิตแท็งก์ที่ไม่ได้คุณภาพ

อุบัติเหตุที่เกิดขึ้น คือ เกิดการรั่วไหลจากแท็งก์บรรจุแอมโมเนียเหลว (Liquefied anhydrous ammonia) ที่มลรัฐไอโอวา ประเทศสหรัฐอเมริกา สาเหตุมาจากรอยเชื่อมบริเวณตัวแท็งก์ปริออก เมื่อค้นหาสาเหตุจึงพบว่ารอยเชื่อมตามแนวยาวของแท็งก์บรรจุไม่ได้มาตรฐาน มีสาเหตุมาจาก

- รอยปริหรือรอยชำรุดดังกล่าวนั้นเกิดขึ้นตั้งแต่การทดสอบแรงดันตั้งแต่ขั้นตอนการสร้างแท็งก์
- มีการตรวจสอบแนวเชื่อมแท็งก์โดยด้วยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT) เพียงอย่างเดียว ไม่มีวิธีการตรวจสอบโดยไม่ทำลายวิธีอื่น ทำให้ไม่สามารถตรวจหารอยชำรุด ดังกล่าวได้

จากสาเหตุที่กล่าวมาทำให้แอมโมเนียเหลวภายในรั่วไหลออกมา ส่งผลให้พนักงานที่เกี่ยวข้องเสียชีวิต 1 คนและได้รับบาดเจ็บสาหัส 1 คน เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุในกรณีนี้ ในการตรวจสอบและทดสอบแท็งก์ก่อนการใช้งานต้องทำการทดสอบโดยไม่ทำลายที่เหมาะสมตามข้อกำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9.2 การศึกษาเพื่อการกำหนดแนวทางการแก้ไข

(หทัยวงศ์ งามวุฒิวงศ์ 2552) ทำการศึกษาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ชุดห้องครัวของโรงงานกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพและลดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ ทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องโดยใช้ผังพาเรโต แล้วพิจาณาเพื่อหาลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นพบว่า เกิดจากรูปแบบของผลิตภัณฑ์ และกระบวนการติดตั้งและทำสี สำหรับการติดตั้งและการทำสี ทำการวิเคราะห์สาเหตุโดยเริ่มจาก การใช้แผนภูมิก้างปลา วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง จากนั้น FMEA ทำการปรับปรุง

ข้อบกพร่องที่มีค่า 120 ขึ้นไป หลังจากการวิเคราะห์ต้องปรับปรุงข้อบกพร่องการเกิดรอยขีด มีสาเหตุมาจาก พนักงานทำชิ้นงานตกและพนักงานวางอุปกรณ์บนชิ้นงาน แนวทางการแก้ไข คือ การกำหนดแผนการอบรมพนักงาน การจัดทำแบบฟอร์ม ในการตรวจสอบการทำงาน สำหรับข้อบกพร่องผิดแบบ สาเหตุจากการที่พนักงานขาดความรู้ในการอ่านแบบ จึงกำหนดแผนการอบรมให้ความรู้พนักงานเรื่องการอ่านแบบ และจัดทำแบบฟอร์มในการตรวจสอบการทำงาน จากการปรับปรุง สามารถลดข้อบกพร่องจาก 34.12 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 11.81 เปอร์เซ็นต์

(อัจฉรียา วังวิเศษ 2553) เกิดข้อบกพร่องขึ้นในกระบวนการผสมสี ทำให้สูญเสียเวลาในกระบวนการผสมสี เมื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นพบ ปัญหาเฉดสีเพี้ยน รองลงมาคือปนเปื้อนเฉดสีอื่น ทำการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (FTA) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) เพื่อประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำ RPN ของแต่ละสาเหตุ พบว่า 20 สาเหตุ ที่มีค่า RPN แล้วกำหนดมาตรการแก้ไข ตัวอย่างสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องพนักงานล้างอุปกรณ์ไม่สะอาด คือ การชี้แจงและอบรมพนักงานเรื่องการเตรียมอุปกรณ์ในการเตรียมแผ่นสีตัวอย่าง ผลหลังการปรับปรุงทำให้ค่า RPN ลดลง 40 เปอร์เซ็นต์ ปัญหาพนักงานขาดความเข้าในหลักการสี แนวทางการแก้ไขคือ จัดทำคู่มือสำหรับการทำงาน และการอบรมชี้แจงพนักงาน ค่า RPN ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

(วิลันดา เริงโรจน์สรากุล 2554) เป็นงานวิจัยในอุตสาหกรรมการผลิตวงจรรวม ในกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้า เนื่องจากทำการศึกษาแล้วพบของเสียเนื้อเพลตเป็นเสี้ยนชิ้นงานมีความหนาไม่ได้ตามกำหนดและของเสียไม่ผ่านการทดสอบ จึงทำการระดมสมองเพื่อระบุปัจจัยทางคุณภาพของกระบวนการ แล้วทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยผังก้างปลาและ FMEA สำหรับปัญหา เนื้อเพลตเป็นเสี้ยนหรือเนื้อเพลตส่วนเกิน พบปัญหาเกิดจากสิ่งปนเปื้อนในสารเคมี การกำหนดขั้นตอนการทำงานของพนักงานและการตรวจสอบบำรุงรักษาเครื่องจักรไม่เหมาะสม จึงดำเนินการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ โดยการจัดทำแผนการดำเนินการสำหรับพนักงานตรวจสอบคุณภาพและกำหนดแผนการรองรับในกรณีที่มีการตรวจพบสิ่งผิดปกติในกระบวนการ สิ่งที่เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย คือ ขั้นตอนในการควบคุมการของพนักงาน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) จัดทำขั้นตอนและความถี่ในการวิเคราะห์สารปนเปื้อนสำหรับพนักงานตรวจสอบคุณภาพ
2) อบรมพนักงานตรวจสอบคุณภาพโดยวิศวกรฝ่ายคุณภาพ
3) จัดทำขั้นตอนการดำเนินการกรณีพบสารปนเปื้อนออกนอกการควบคุม

4) อบรมพนักงานฝ่ายผลิตและช่างเทคนิค

ภายหลังการปรับปรุงคุณภาพพบว่าสัดส่วนข้อบกพร่องจากเดิม 46 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 5 เปอร์เซ็นต์

(อรรถพล ฤทธิภักดี 2544) เป็นการศึกษาขั้นตอนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากพบปัญหาเกิดความบกพร่องที่ส่งผลต่อผิวของชิ้นส่วนเป็นจำนวนมาก ได้แก่ สีเป็นเม็ด สีเป็นขนผ้า สีเป็นหลุม สีบาง จึงทำการวิเคราะห์ FMEA พบสาเหตุเกิดจากการขาดการวางแผนการตรวจสอบทางด้านคุณภาพของชิ้นงาน การขาดมาตรฐานการควบคุมคุณภาพ การขาดการบำรุงรักษาความสะอาดในกระบวนการพ่นสี และการขาดประสบการณ์ในการทำงานของพนักงาน จึงทำการวิจัยเพื่อการแก้ไขปัญหาโดยเริ่มจาก การระดมสมอง ใช้แผนภาพต้นไม้ แผนผังแสดงเหตุและผล แผนภาพความสัมพันธ์และการวิเคราะห์ PFMEA คำนวณค่า RPN เพื่อคำนวณหาค่าความเสี่ยงที่จะเกิดข้อบกพร่องขึ้น การปรับปรุงกระบวนการโดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่า severity occurrence และ detection จาก FMEA โดยการแก้ไขปัญหาตามสามเหตุที่เกิดขึ้น เช่น สาเหตุจากการเป่าลมบนชิ้นงานไม่ทั่วทุกจุด แก้ไขโดยการจัดอบรมพนักงานเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งบันทึกความสามารถ ในส่วนสาเหตุการพ่นสีหนากว่าค่าที่กำหนด แก้ไขโดยการจัดอบรมพนักงานเกี่ยวกับการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งบันทึกความสามารถ นอกจากนี้สาเหตุความหนืดของสีต่ำกว่าค่าที่กำหนด แก้ไขโดยการจัดทำใบตรวจสอบภายหลังการปรับปรุงพบว่า สัดส่วนข้อบกพร่องต่อปริมาณการผลิตทั้งหมดลดลงจาก 16.37 เหลือ 9.37 เปอร์เซ็นต์ และค่า RPN ลดลงจาก 20.00 ถึง 78.57 เปอร์เซ็นต์

(ภานุเทพ อธิปัญญาพันธุ์ 2555) เป็นการวิจัยในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพในการผลิตสีผง พบปัญหาความบกพร่องด้านความสามารถของพนักงานในการตรวจสอบคุณภาพ จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุด้วยผังก้างปลา จากนั้นประเมินความสามารถของพนักงานจากแผ่นงานตัวอย่าง เพื่อยืนยันว่าเป็นความบกพร่องของพนักงานจริง แล้วทำการเสนอแนวทางการแก้ไขสาเหตุที่ทำให้เกิดความบกพร่อง ได้แก่ การจัดทำมาตรฐานวิธีการตรวจสอบ การฝึกอบรมวิธีการตรวจสอบที่ถูกต้อง การควบคุมสีมาตรฐานสำหรับการอ้างอิงให้อยู่ในสภาพดี การแก้ไขนิยามเกณฑ์การตรวจสอบ หลังการปรับปรัง ค่าเปอร์เซ็นต์แอตทริบิวต์ของพนักงานทุกคนมีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

(สาโรช บัวบูชา 2541) งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์หาตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อคุณภาพในยางผสมและเพื่อพัฒนาระบบประกันคุณภาพในกระบวนการผลิต

ยางผสมในอุตสาหกรรมรถยนต์ เพื่อกระบวนการมีของเสียลดลง โดยทำการศึกษาในโรงงาน พบว่า มีสัดส่วนของเสียของยางผสมในปริมาณสูง เพราะโรงงานไม่มีการจัดตั้งระบบประกันคุณภาพ, ยังไม่มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือและเทคนิคทางวิศวกรรมคุณภาพ, ขาดระบบการควบคุมคุณภาพที่ดี, ยังไม่มีขั้นตอนการประกันคุณภาพของกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และเกิดปัญหาคุณภาพในกระบวนการผสมยางซึ่งไม่อยู่ภายใต้การควบคุม จึงทำการศึกษาวิเคราะห์ระบบคุณภาพของโรงงาน พบว่าแผนกวิศวกรรมอุตสาหการยังมีบทบาทไม่มากเท่าที่ควร ทำให้การปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตไม่มีความต่อเนื่อง ยังไม่มีการประยุกต์ใช้สถิติให้มีประสิทธิภาพ มีของเสียเกิดขึ้นมากในกระบวนการผลิต ในส่วนของแผนกประกันคุณภาพ การควบคุมคุณภาพยังไม่สามารถประกันได้แน่ชัดว่า ยางผสมที่ออกไปจากกระบวนการสู่ลูกค้านั้นมีคุณภาพสม่ำเสมอตามที่ลูกค้าต้องการหรือไม่ ในส่วนฝ่ายผลิต วิธีการผสมยางก็มีวิธีการที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด อีกทั้งการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาคุณภาพยังขาดข้อเท็จจริงมาสนับสนุน จึงสามารถสรุปปัญหาที่เกิดจากระบบการผลิตทั้งระบบได้ดังนี้

1. <u>ปัญหาด้านเครื่องจักรและอุปกรณ์</u> คือโรงงานไม่มีแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรที่แน่นอน มีเครื่องจักรเสีย ชำรุดระหว่างการผลิตเป็นเวลาหลายชั่วโมงใน 1 เดือน ในบางครั้งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพ
2. <u>ปัญหาด้านการฝึกอบรม</u> โรงงานไม่มีการฝึกอบรมในด้านการผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้พนักงานฝ่ายผลิตขาดจิตสำนึกและความรับผิดชอบในเรื่องคุณภาพ
3. <u>ปัญหาด้านผลิตภัณฑ์</u> เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังไม่มีการแก้ปัญหาอย่างจริงจังคือไม่เป็นไปตามกระบวนการแก้ปัญหา
4. <u>ปัญหาด้านระบบประกันคุณภาพคุณภาพ</u>
    4.1 ไม่มีนโยบายคุณภาพ คู่มือคุณภาพ คู่มือระเบียบปฏิบัติงาน คู่มือการทำงาน
    4.2 การบันทึกข้อมูลยังไม่ดีพอ
    4.3 การใช้ข้อมูลทางสถิติ น้อยเกินไปต่อการวัดผล
    4.4 การบ่งชี้ การสอบย้อนกลับ ขาดประสิทธิภาพ
    4.5 การใช้เครื่องมือและเทคนิคด้านคุณภาพ เช่น checklist กราฟ ไม่เป็นหลักการและไม่มีการนำมาวิเคราะห์
    4.6 การจัดวางวัสดุ ในอาคารไม่มีมาตรฐาน ไม่สามารถแบ่งแยกของดีของเสีย
    4.7 ไม่มีแผนคุณภาพ ที่จะกำหนดแนวทาง วิธีการในการควบคุมคุณภาพให้เกิดความมั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพดังที่ลูกค้าต้องการ

2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโลหะ

(ไพโรจน์ พ่อค้า ภัทราพรรณ ทิพย์เกตุและมลฤดี ดวงจันทร์ 2554)งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการคัดเลือกพนักงานเชื่อมโลหะไฟฟ้าและการจัดระดับของช่างเชื่อม ให้เป็นมาตรฐานตามหลักเกณฑ์ทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ โดยทำแบบสอบถามถึงความต้องการประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อม ให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน ทำการประเมิน ผลการประเมินพบว่า ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญการคัดเลือกพนักงาน โดยพนักงานเชื่อม ควรมีคุณลักษณะดังนี้ สามารถเลือกใช้อุปกรณ์งานเชื่อมได้อย่างเหมาะสม สามารถปฏิบัติงานเชื่อมโลหะได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม สามารถดำเนินการเชื่อมโลหะได้ตรงตามหลักการมาตรฐาน AWS และรู้ถึงหลักความปลอดภัยในการทำงาน

(เกษมชัย บุญเพ็ญ 2540) เป็นการดำเนินงานวิจัยเชิงสำรวจ เพื่อศึกษาความต้องการช่างเชื่อมของสถานประกอบการอู่เรือเหล็กในประเทศไทย ด้าน ความรู้ ทักษะ และคุณลักษณะที่พึงประสงค์ โดยการดำเนินการแจกแบบสอบถามแก่บุคลากร จำนวน 40 จากสถานประกอบการอู่เรือเอกชน 6 อู่ และอู่เรือราชการ 2 อู่ ใช้เครื่องมือการแจกแจงความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลจากการสำรวจคุณลักษณะของช่างเชื่อมโลหะคือ มีความต้องการสมรรถภาพด้านความรู้ของช่างเชื่อม ได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับข้อกำหนดเฉพาะและแผนงาน ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการเชื่อม ความรู้เกี่ยวกับวัสดุ โลหะวิทยาการเชื่อม และมีสมรรถภาพด้านทักษะในการเชื่อม ได้แก่ ทักษะการเชื่อมตามท่าเชื่อม ทักษะการเตรียมงาน ทักษะด้านแบบและข้อกำหนดทักษะการเชื่อมตามชนิดรอยต่อ

(ประทีป ระงับทุกข์ 2545) ได้ทำการวิจัยเชิงบรรยาย (descriptive method) ประเภทแบบสอบถาม (survey research) เกี่ยวกับลักษณะที่พึงประสงค์ของช่างฝีมือเชื่อมในสถานประกอบการที่เป็นสมาชิกของสภาอุตสาหกรรมทั้งหมด 45 แห่ง จากสมาคมการเชื่อมโลหะ 35 แห่ง รวมทั้งสิ้น 205 คน ผลการวิจัย สามารถสรุปเป็นหัวข้อคุณลักษณะช่างเชื่อมโลหะที่พึงประสงค์ทั้งหมด 17 หัวข้อ ดังนี้

1. ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการวางแผนการเตรียมงานเชื่อม
2. ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมแบบอาร์กด้วยไฟฟ้า
3. ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมแบบแก๊สออกซี-อซิทิลีน
4. ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมประเภทการเชื่อม TIG
5. ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมประเภทการเชื่อม MIG – MAG

6. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมแบบอาร์กด้วยไฟฟ้า ตามลักษณะของท่าเชื่อม

7. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมแบบอาร์กด้วยไฟฟ้า ตามชนิดของแบบรอยต่อแผ่นโลหะ

8. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมแบบอาร์กด้วยไฟฟ้า ตามชนิดของแผ่นโลหะ

9. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมแบบแก๊สออกซี-อซิทิลีน ตามลักษณะของท่าเชื่อม

10. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมแบบแก๊สออกซี-อซิทิลีน ตามลักษณะของแบบรอยต่อแผ่นโลหะ

11. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมแบบแก๊สออกซี-อซิทิลีน ตามชนิดของแผ่นโลหะ

12. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม TIG ตามลักษณะของท่าเชื่อม

13. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม TIG ตามลักษณะของแบบรอยต่อแผ่นโลหะ

14. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม TIG ตามชนิดของแผ่นโลหะ

15. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม MIG – MAG ตามลักษณะของท่าเชื่อม

16. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม MIG - MAG ตามลักษณะของแบบรอยต่อแผ่นโลหะ

17. ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม MIG - MAG ตามชนิดของแผ่นโลหะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9.4 การศึกษาการสร้างระบบการฝึกอบรม

(วัชฤทธิ์ เอกนิพิธและจิตรา รู้กิจการพานิช 2554) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง พบปัญหา ชิ้นส่วนมีปัญหาด้านคุณภาพ จากการวิเคราะห์สาเหตุพบว่า มีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากปัจจัยเรื่องคน คือ พนักงานระดับปฏิบัติการทำงานผิดพลาด ไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานการทำงาน และไม่มีความรู้ความสามารถเพียงพอ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพที่คนโดยการสร้างระบบการ

ฝึกอบรมความสามารถ โดยวิธีการแปลงหน้าที่คุณภาพ (Quality Function Development, QFD) เพื่อหาแผนการควบคุมระบบการฝึกอบรม

ผลจากการวิเคราะห์ QFD สรุปได้ว่าทำการปรับปรุงใน 4 วิธีหลัก คือ

- การปรับปรุงระเบียบมาตรฐาน คือ การปรับปรุงโดยการจัดทำระเบียบการอบรมเพิ่มเติม
- การปรับปรุงขั้นตอน วิธีการ คือ การปรับปรุงโดยการกำหนดหรือแก้ไขขั้นตอนวิธีการฝึกอบรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- การปรับปรุงเอกสารการฝึกอบรม โดยการจัดทำเพิ่มเติมหรือแก้ไข
- การปรับปรุงเครื่องจักร อุปกรณ์ คือ การปรับปรุงทรัพยากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ภายหลังการดำเนินการปรับปรุง พบว่า ระบบการฝึกอบรมมีการพัฒนา ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ระบบการฝึกอบรมก่อนและหลังการพัฒนา

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
หลักสูตรและเนื้อหาการฝึกอบรม	
- ฝึกอบรมปฐมนิเทศ - อบรมทฤษฎีการผลิตชิ้นงาน - ฝึกอบรมหน้างาน (on the job)	- ฝึกอบรมปฐมนิเทศ - อบรมทฤษฎีการผลิตชิ้นงาน - ฝึกอบรมหน้างาน (on the job) - มีระเบียบควบคุมการฝึกอบรม - มีมาตรฐานการฝึกอบรมตามหน้าที่ - อบรมทฤษฎีการตรวจสอบคุณภาพ - มีการฝึกภาคปฏิบัติ - มีเอกสารการฝึกอบรม
ผู้สอน	
- มีความสามารถในการสอนงาน	- มีความสามารถในการสอนงาน - มีมาตรฐานควบคุมคุณสมบัติผู้สอน
สภาพแวดล้อมและทรัพยากรการฝึกอบรม	
- มีห้องเรียนสำหรับเรียนภาคทฤษฎี	- มีห้องเรียนสำหรับเรียนภาคทฤษฎี - มีเครื่องจักสำหรับฝึกปฏิบัติ

ตารางที่ 2.1 ระบบการฝึกอบรมก่อนและหลังการพัฒนา (ต่อ)

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
การประเมินผล	
- แบบประเมินผลภาคทฤษฎี - เกณฑ์ประเมินภาคทฤษฎี	- แบบประเมินผลภาคทฤษฎี - เกณฑ์ในการประเมินภาคทฤษฎี - วิธีการและเกณฑ์การประเมินภาคปฏิบัติ - แบบประเมินภาคปฏิบัติ - มาตรฐานการบันทึกความสามารถ - เอกสารใบบันทึกระดับความสามารถ

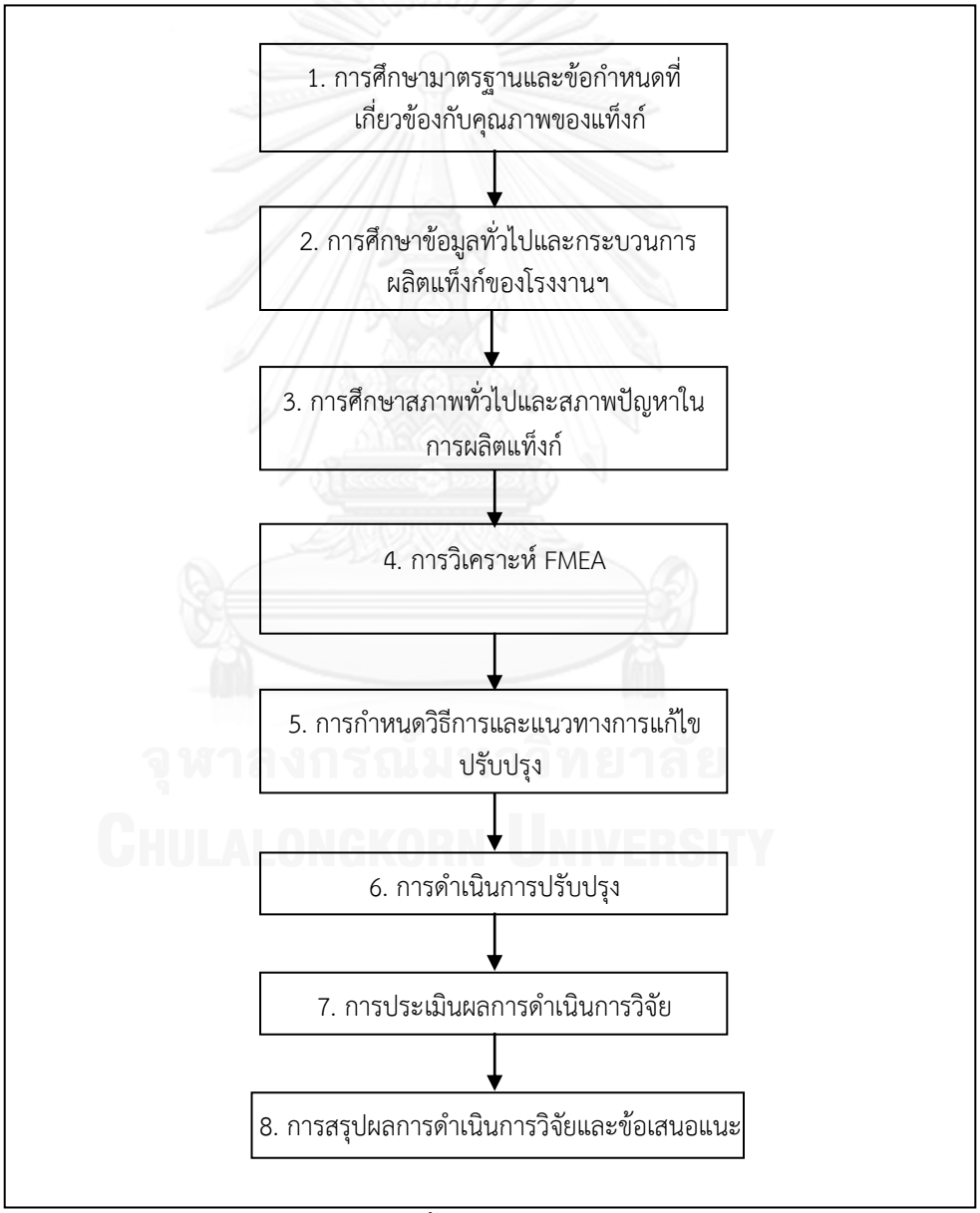
หลังการพัฒนาระบบการฝึกอบรม พบว่าระดับความสามารถของพนักงานฝ่ายผลิตมีค่าสูงขึ้น โดยวัดจากระดับคะแนนหลังการฝึกอบรมเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 16.61 เปอร์เซ็นต์ จำนวนความผิดพลาดของพนักงานฝ่ายผลิตลดลงเฉลี่ย 21.73 เปอร์เซ็นต์ และจำนวนของเสียลดลงเฉลี่ย 45.22 เปอร์เซ็นต์

(พัทธ์ชลิต วีราภรณ์กุล และจิตรา รู้กิจการพานิช, 2554) เป็นการวิจัยในโรงงานผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป ซึ่งพบปัญหาผลผลิตในกระบวนการเย็บไม่ได้จำนวนตามเป้าหมายที่วางไว้ เมื่อทำวิเคราะห์ปัญหาพบว่าเกิดจากสาเหตุ พบว่า ในกระบวนการเย็บมีแรงงานพม่าที่ขาดทักษะในวิธีการเย็บที่ถูกต้องและขาดความชำนาญในการเย็บ จึงวางแผนการแก้ไข โดนทุกคนมีส่วนร่วม โดยใช้ 4 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นที่ 1 การสร้างองค์ความรู้ให้แก่หัวหน้างานที่เป็นคนไทย ในรูปแบบของวีดิทัศน์ที่บันทึกท่าทางการทำงานของพนักงานเย็บคนไทยที่ถูกต้อง ขั้นที่ 2 การวิเคราะห์สาเหตุปัญหา ที่ทำให้กระบวนการเย็บไม่ได้ผลผลิตตามเป้าหมายโดยใช้ผังก้างปลาและแผนผังการจัดกลุ่มความคิด ขั้นที่ 3 การแก้ไขและป้องกันปัญหา เป็นการให้ความรู้และฝึกอบรมแรงงานพม่า โดยใช้ OPL เป็นสื่อในการสอนให้เข้าใจวิธีการทำงานที่ถูกต้อง และขั้นที่ 4 ขั้นตอนการติดตามและประเมินผลการทำงานของพนักงาน โดยงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำในขั้นตอนนี้ ผลการวิจัย โดยการเปรียบเทียบทางสถิติพบว่าแรงงานพม่ามีความเข้าใจในวิธีการทำงานที่ถูกต้อง ส่งผลให้ลักษณะข้อบกพร่องของงานเย็บลดลง จากปัญหาปลายปกสองข้างไม่เท่ากันลดลงจาก 25 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ ปัญหาลายแขนเสื้อไม่ตรงกัน จาก 18 เปอร์เซ็นต์ ลดลง 3 เปอร์เซ็นต์ และปัญหาเย็บลายลูกสรกลับด้านลดลงจากเดิม 14 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 3 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

รายละเอียดการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดในขั้นตอนการทำงาน โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 8 ข้อ แสดงภาพรวมการดำเนินงานวิจัย ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3. 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของแท็งก์

งานวิจัยนี้ได้กำหนดขอบเขตของการศึกษากระบวนการผลิตแท็งก์บรรจุวัตถุอันตรายประเภทสารกัดกร่อน โดยแท็งก์สำหรับบรรจุสารกัดกร่อน มีรหัสคือ L4BN ทำการศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของแท็งก์ L4BN จาก ข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนนของประเทศไทยเล่มที่ 2 (Thai Provisions Volume II Concerning the Transport of Dangerous Goods by Road, TP-II) โดยทำการศึกษาประเด็นหลักในบทที่ 6 เรื่อง ข้อกำหนดสำหรับการสร้างและการทดสอบบรรจุภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์แบบ IBC บรรจุภัณฑ์ขนาดใหญ่และแท็งก์ ในหัวบทย่อย คือ บทที่ 6.8 ข้อกำหนดของการสร้าง อุปกรณ์ การอนุมัติต้นแบบ การทดสอบ และการทำเครื่องหมายของแท็งก์ยึดติดถาวร (รถแท็งก์) แท็งก์ยึดติดไม่ถาวร แท็งก์คอนเทนเนอร์และแท็งก์ที่สับเปลี่ยนได้ ที่ผนังแท็งก์ทำด้วยโลหะ และรถติดตั้งภาชนะบรรจุก๊าซแบบแบตเตอรี่และภาชนะบรรจุก๊าซแบบกลุ่ม

3.2 การศึกษาข้อมูลทั่วไปและกระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา

การศึกษาภาพรวมของการผลิตแท็งก์สำหรับบรรจุวัตถุอันตราย ประเภทสารกัดกร่อน รหัสแท็งก์ L4BN โดยทำการศึกษาในรูปแบบของผังการไหล (process flow chart) เพื่อให้เข้าใจทั้งโครงสร้าง รวมถึงการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนของการผลิตเพื่อให้เข้าใจถึงขั้นตอนและวิธีการทำงาน

3.3 การศึกษาสภาพทั่วไปและสภาพปัญหาในการผลิตแท็งก์

ทำการศึกษาและสำรวจสภาพทั่วไปและสภาพปัญหาในกระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาข้อผิดพลาดและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยข้อผิดพลาด คือ ความผิดพลาดในขั้นตอนการทำงาน ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนการผลิต ส่วนข้อบกพร่อง คือ ลักษณะข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นและส่งผลต่อคุณภาพของแท็งก์

3.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis, FMEA)

ทำการวิเคราะห์ FMEA ของลักษณะข้อบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต โดยการกำหนดการให้คะแนนสำหรับการประเมินความรุนแรง (Severity, S) ของผลกระทบจากข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น กำหนดเกณฑ์การให้คะแนนโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง

(Occurrence, O) ในขั้นตอนการทำงานซึ่งจะส่งผลให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องต่อคุณภาพของแท็งก์ และการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับ (Detection, D) (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2551) ซึ่งเป็นความสามารถในการป้องกันและควบคุมการเกิดข้อผิดพลาดในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ โดยทำการประยุกต์เกณฑ์การประเมินจาก การประเมินความเสี่ยงในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์แห่งสหรัฐอเมริกา (Automotive Industry Action Group, AIAG) มาปรับใช้เพื่อการกำหนดเกณฑ์การประเมิน FMEA ในกระบวนการผลิตแท็งก์ จากนั้นทำการประเมินค่าความเสี่ยงชี้นำ หรือค่าที่แสดงระดับความรุนแรงของความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN)

3.5 การกำหนดวิธีการและแนวทางการแก้ไขปรับปรุง

ทำการกำหนดวิธีการและแนวทางการแก้ไขปรับปรุงสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ โดยวิธีการปรับปรุงแก้ไขได้จากการระดมสมองร่วมกันกับคณะทีมงาน สำหรับประเด็นที่จะดำเนินการปรับปรุงแก้ไขคือสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงกว่าค่าที่กำหนดจากการวิเคราะห์ FMEA

3.6 การดำเนินการปรับปรุง

ดำเนินงานตามแนวทางและวิธีการที่กำหนดไว้ในข้อ 3.5

3.7 การประเมินผลการดำเนินการวิจัย

1) การเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องในขั้นตอนที่ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

2) การเปรียบเทียบระดับคะแนนด้านความรู้ในการเชื่อมโลหะและความรู้ด้านคุณภาพของการเชื่อมโลหะ ของช่างเชื่อมจากการทำแบบทดสอบ

3) การเปรียบเทียบระดับทักษะการทำการเชื่อมโลหะของช่างเชื่อมจากการประเมินผลทักษะโดยหัวหน้างาน

4) การเปรียบเทียบสัดส่วนแท็งก์ที่ไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย

3.8 การสรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ภายหลังการดำเนินการปรับปรุงและประเมินผล ทำการนำผลที่ได้จากการประเมินมาทำการสรุปผลการดำเนินการวิจัย โดยทำการสรุปผล ดังนี้

1) ผลการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์

2) ข้อเสนอแนะ

บทที่ 4

การดำเนินงานวิจัย

4.1 การศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพของแท็งก์

งานวิจัยนี้ อ้างอิงและศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพแท็งก์จากข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนนของประเทศไทย เล่มที่ 2 (Thai Provisions Volume II Concerning the Transport of Dangerous Goods by Road, TP-II) (กรมการขนส่งทางบก 2546) ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่นำหลักเกณฑ์และแนวทางมาจาก ข้อตกลงว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายระหว่างประเทศทางถนนของคณะกรรมาธิการเศรษฐกิจแห่งยุโรปภายใต้สหประชาชาติ (European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, ADR) มาประยุกต์ใช้ จากการศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดใน TP-II สามารถแบ่งข้อกำหนดการผลิตแท็งก์สำหรับบรรจุวัตถุอันตราย ประเภทสารกัดกร่อน เป็นแท็งก์ติดตรึง (fixed tank) รหัสแท็งก์ L4BN ได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้ การออกแบบแท็งก์ การเลือกใช้วัสดุหรือวัตถุดิบ ขั้นตอนการผลิต และการทดสอบคุณภาพ สำหรับการออกแบบแท็งก์เป็นขั้นตอนก่อนการดำเนินการผลิตแท็งก์ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัย จึงจะทำการศึกษาข้อกำหนดการผลิตแท็งก์ 3 กลุ่ม ได้แก่ ข้อกำหนดด้านวัสดุ ข้อกำหนดด้านการผลิต และข้อกำหนดด้านการทดสอบคุณภาพ แสดงรายละเอียด ดังนี้

4.1.1 ข้อกำหนดด้านวัสดุ

1) ผนังแท็งก์ต้องทำจากเหล็กกล้าหรือเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ทนทานต่อการแตกเปราะและการแตกร้าวที่เกิดจากการกัดกร่อนในช่วงอุณหภูมิระหว่าง -20 ถึง +50 องศาเซลเซียส และสามารถทนต่อแรงดันได้อย่างน้อย 4 บาร์

2) เป็นวัสดุที่สามารถเชื่อมได้โดยไม่มีตำหนิ

3) ผนังแท็งก์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร

4) แผ่นกั้นช่อง ต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 5 มิลลิเมตร

5) แผ่นกั้นช่องต้องมีความลึกของจานโค้งไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร

6) วาล์วภายใน (internal valve) หรือวาล์วฉุกเฉิน (emergency valve) เป็นวาล์วที่ติดกับตัวแท็งก์ด้านใน ทำหน้าที่ตัดระบบที่สำคัญ โดยวาล์วจะต้องถูกออกแบบให้สามารถปิดได้สนิท เพื่อป้องกันการกระแทกแล้วทำให้วาล์วเปิด

7) วาล์วภายนอก (external valve) หรือ ฝาปิดปลายท่อ เป็นวาล์วที่ติดอยู่กับตัวแท็งก์ด้านนอก ทำหน้าที่ตัดระบบที่สำคัญเช่นเดียวกับวาล์วภายใน
8) วาล์วนิรภัย ทำหน้าที่ป้องกัน กรณีที่ตัวแท็งก์หรือวัตถุอันตรายภายในมีความดันสูงหรืออยู่ในสถานการณ์สุญญากาศ โดยต้องเป็นวาล์วชนิด positive และ negative valve
9) ช่องสำหรับคนเข้า หรือ manhole สำหรับแท็งก์ติดตรึง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 400 มิลลิเมตร

4.1.2 ข้อกำหนดด้านขั้นตอนการผลิต

- **การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ**

1) แท็งก์ต้องมีอุปกรณ์ใช้งานความแข็งแรง ได้แก่ แผ่นกั้นช่อง และวงแหวน โดยระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้กัน ต้องมีระยะห่างไม่เกิน 1.75 เมตร
2) การติดตั้งอุปกรณ์สวมประกอบ (fitting) และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ติดตั้งไว้ด้านผิวของตัวแท็งก์จะต้องได้รับการป้องกันความเสียหายในกรณีที่แท็งก์เกิดการพลิกคว่ำ

- **การเชื่อมแท็งก์**

1) ช่างเชื่อม ต้องมีคุณสมบัติที่ได้รับการรับรองด้านงานเชื่อมจากพนักงานเจ้าหน้าที่
2) กระบวนการเชื่อมที่ใช้ในกระบวนการผลิตต้องได้รับการรับรองประสิทธิผล
3) การตรวจสอบแนวเชื่อม ต้องทำการตรวจสอบแนวเชื่อม จุดที่ตะเข็บแนวเชื่อมมาต่อกัน 25 เปอร์เซ็นต์ของตะเข็บแนวเชื่อมมาต่อกัน นอกจากนี้ ต้องทำการตรวจสอบตะเข็บแนวเชื่อมของการติดตั้งอุปกรณ์ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ได้แก่ การติดตั้งฝา manhole และ nozzle
4) การตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา จะต้องทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาทั้งด้านในและด้านนอกตัวแท็งก์ให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

- **ระบบการจัดเก็บเอกสาร**

1) ผู้ผลิตแท็งก์จะต้องจัดทำระบบข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตรายละเอียดวัตถุดิบและอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อให้แน่ใจว่า แท็งก์ที่นำมาใช้ได้ผ่านการทดสอบสมรรถนะและข้อกำหนดตามมาตรฐาน TP-II

- **การทำเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ติดตั้งบนตัวแท็งก์**

1) แท็งก์ทุกใบจะต้องทำการติดตั้งแผ่นป้ายโลหะที่มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อน ติดอยู่กับแท็งก์อย่างถาวร ในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นและทำการตรวจสอบได้ง่าย โดยรายละเอียดที่ต้องแสดงบนสัญลักษณ์ ได้แก่ หมายเลขอนุมัติแท็งก์ ชื่อหรือเครื่องหมายของผู้ผลิต หมายเลขลำดับของผู้ผลิต ปีที่ผลิต ความดันทดสอบ ความจุ ตราประทับของผู้เชี่ยวชาญที่ทำการทดสอบ และวัสดุผนังแท็งก์และมาตรฐานอ้างอิง

4.1.3 ข้อกำหนดด้านการทดสอบคุณภาพ

1) ต้องมีการตรวจสอบความถูกต้อง ว่าแท็งก์จะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ ตรงตามต้นแบบที่ได้รับการอนุมัติ

2) ต้องมีการตรวจสอบและทดสอบแบบไม่ทำลายและต้องเป็นตามแท็งก์ต้นแบบที่ได้รับการอนุมัติให้ผลิต จากกรมโรงงานฯ สำหรับแท็งก์ L4BN ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ จะต้องมีการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT) การทดสอบความหนาด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM) และ การทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing, PT)

3) ต้องมีการทดสอบโดยใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Test) หรือความดันอุทก ที่ความดัน 4 บาร์ เป็นการทดสอบความดันในแต่ละห้องของแท็งก์ โดยแท็งก์แต่ละห้องต้องมีความดัน อย่างน้อยเท่า 1.3 เท่าของความดันสูงสุด

4) ต้องมีการทดสอบโดยใช้แรงดันน้ำสำหรับอุปกรณ์ต่างๆ ที่ยึดติดอยู่กับตัวแท็งก์ ว่าไม่มีการรั่วซึมและการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ต้องเป็นไปอย่างถูกต้อง

4.2 ข้อมูลทั่วไปและกระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา

4.2.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษา เป็นโรงงานผลิตแท็งก์ มีการดำเนินธุรกิจมานานกว่า 20 ปี มีพนักงานรวมทั้งหมด 100 คน ทำการผลิตแท็งก์เพื่อการขนส่งไม่ว่าจะเป็นแท็งก์ขนส่งน้ำมัน ยางมะตอย หรือสารเคมีอันตราย เป็นต้น วัสดุสำหรับการผลิตแท็งก์มีหลายประเภท ได้แก่ แท็งก์จากเหล็กกล้าไร้สนิม สแตนเลส และอลูมิเนียม ลักษณะการติดตั้งมีทั้งการติดตั้งบนรถบรรทุก รถพ่วงและ เซมิเทรลเลอร์ นอกจากนี้ ยังทำการผลิตอุปกรณ์ประกอบแท็งก์ต่างๆ อีกด้วย เช่น ฝาแมนโฮล (manhole) และวาล์วกันแท็งก์ เป็นต้น โดยการเลือกวัสดุ การออกแบบ และลักษณะการติดตั้งแท็งก์นั้นสอดคล้องตามความต้องการใช้งานเพื่อการขนส่ง สำหรับการรับคำสั่งการผลิตเป็นไปในรูปแบบของการผลิตตามคำสั่งซื้อและความต้องการ

ของลูกค้า (make to order) และอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. 2546 และข้อกำหนดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

(ก) แท็งก์ที่ติดตั้งบนรถกึ่งพ่วง (ข) แท็งก์ที่ติดตั้งบนรถบรรทุก

ภาพที่ 4.1 รูปตัวอย่างแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา

4.2.2 โครงสร้างองค์กรและการทำงานของฝ่ายผลิต

โรงงานกรณีศึกษาแบ่งการทำงานออกเป็น 9 ฝ่าย ดังภาพที่ 4.2 ประกอบด้วย ฝ่ายออกแบบ ฝ่ายขาย ฝ่ายควบคุมคุณภาพ ฝ่ายผลิต ฝ่ายบุคคล ฝ่ายจัดซื้อ ฝ่ายวัสดุคงคลัง ฝ่ายซ่อมบำรุง และฝ่ายบัญชี โดยฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือ ฝ่ายผลิต ซึ่งเป็นการทำงานออกเป็น 5 แผนก ดังนี้

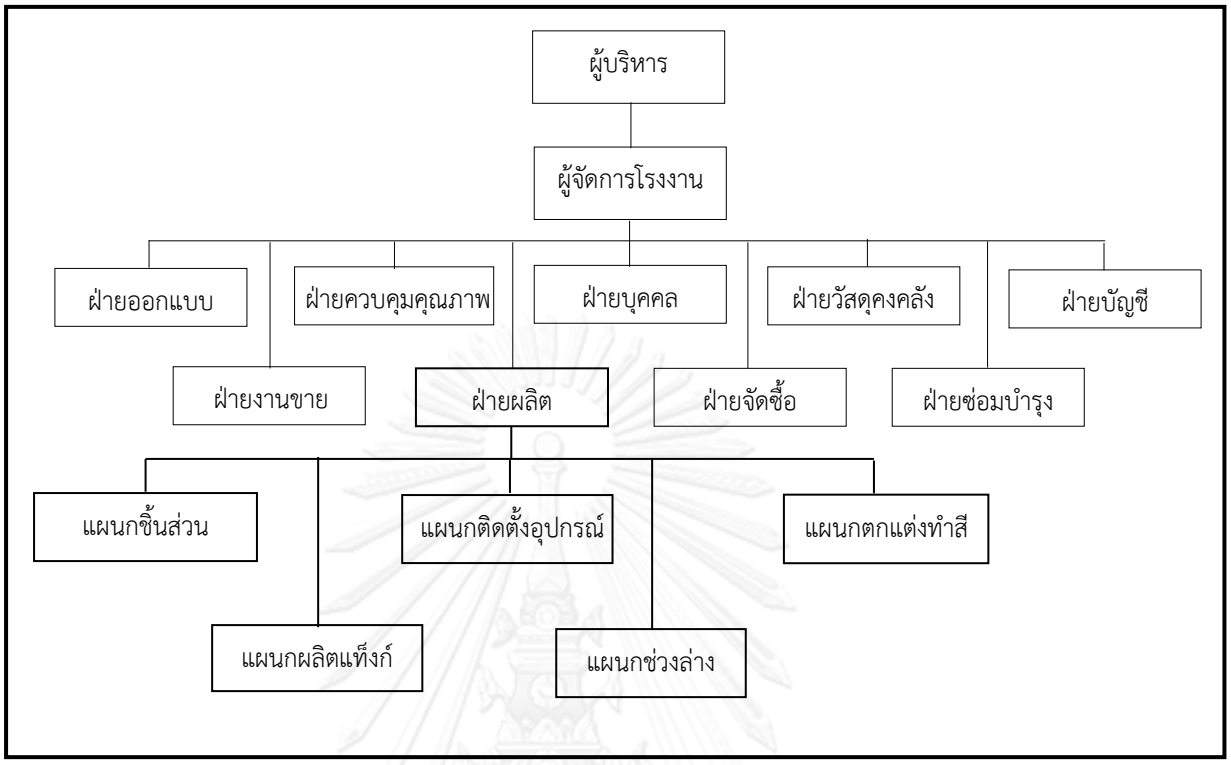
1) แผนกวัสดุ มีหน้าที่ตรวจสอบวัสดุต่างๆ ได้แก่ แผ่นโลหะ อุปกรณ์ติดตั้ง และอุปกรณ์โครงสร้าง ที่ใช้ในการผลิตแท็งก์ ให้ชนิด ประเภท และขนาดของวัสดุดังกล่าว ถูกต้องเป็นไปตามรายการสั่งซื้อ

2) แผนกผลิตแท็งก์ มีหน้าที่ผลิต ขึ้นรูปแผ่นโลหะและการเชื่อมประสานแผ่นโลหะ ฝาหัว ฝาท้าย manhole และ nozzle ให้เป็นแท็งก์

3) แผนกติดตั้งอุปกรณ์ มีหน้าที่ เชื่อมติดตั้งอุปกรณ์สำหรับแท็งก์ต่างๆ ทั้งอุปกรณ์โครงสร้างและอุปกรณ์ใช้งาน ให้ถูกต้องเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

4) แผนกช่วงล่าง มีหน้าที่ ติดตั้งตัวแท็งก์เข้ากับส่วนเชื่อมของรถบรรทุก

5) แผนกตกแต่งทำสี มีหน้าที่ ตกแต่งและสร้างความสวยงามให้แก่แท็งก์ ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า รวมถึงการติดสัญลักษณ์ของวัตถุที่จะทำการขนส่ง



ภาพที่ 4.2 ผังโครงสร้างองค์กรของโรงงานกรณีศึกษา

4.2.3 รายละเอียดเกี่ยวกับแท็งก์ติดตรึง (fixed tank)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในส่วนของการผลิตแท็งก์ติดตรึง หรือแท็งก์ที่ยึดติดเข้ากับตัวรถบรรทุก วัสดุที่ใช้ในการผลิตแท็งก์คือ เหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ความหนาของเหล็กประมาณ 4-6 มิลลิเมตร ในการผลิตแท็งก์อ้างอิงตามาตรฐาน ข้อตกลงว่าด้วยการขนส่งสินค้าอันตรายระหว่างประเทศทางถนนของคณะกรรมาธิการเศรษฐกิจแห่งยุโรปภายใต้สหประชาชาติ (European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road, ADR), ข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนนของประเทศไทย (TP-II) และ สมาคมการกำหนดมาตรฐานสำหรับวัสดุทางวิศวกรรมที่ใช้ในการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐานอเมริกัน (American Society Mechanical Engineers Standards, ASME (section8) Division1)

ภาพที่ 4.3 แท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุก

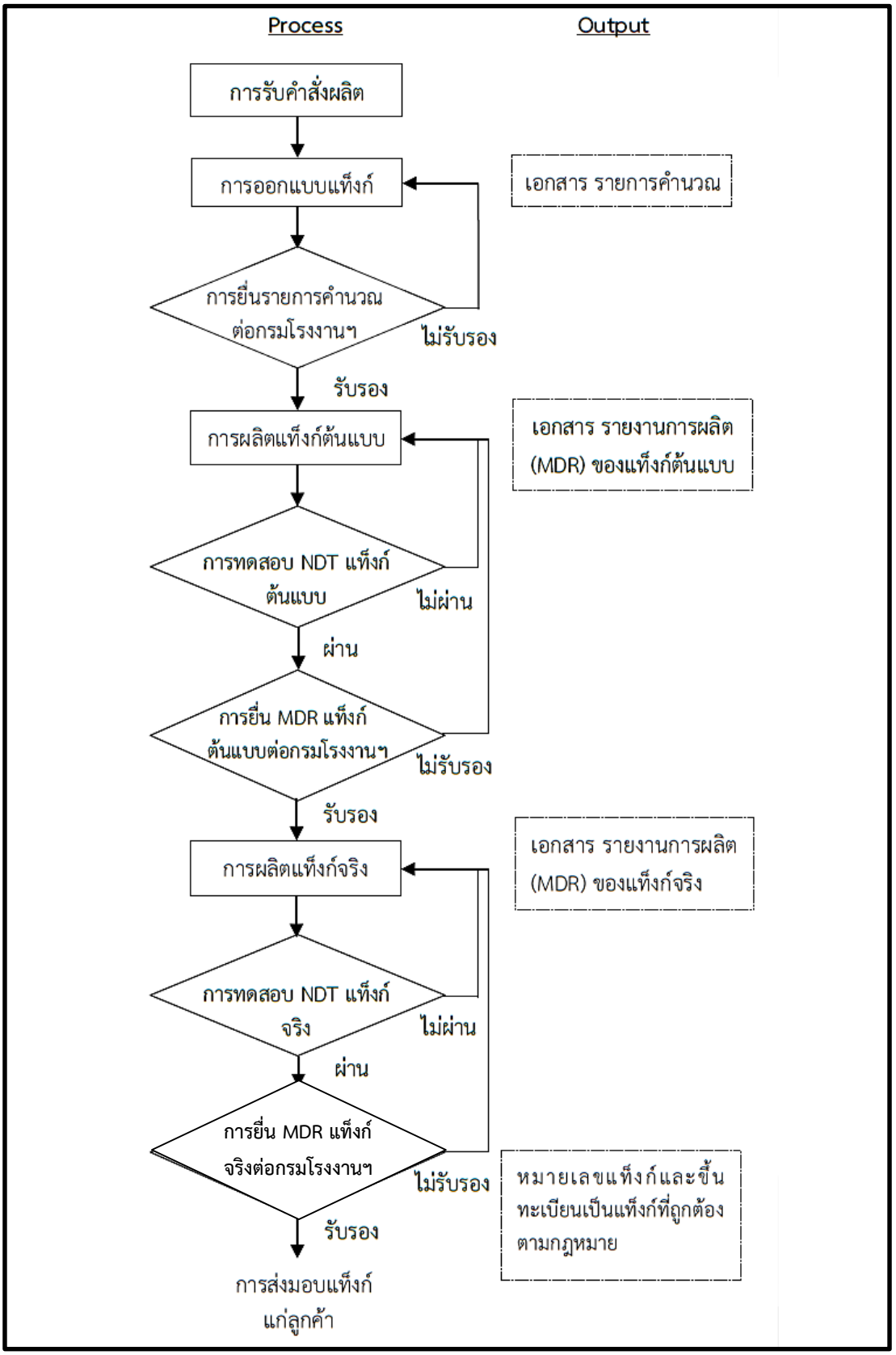
คุณภาพของแท็งก์มีความสำคัญต่อความปลอดภัยในการขนส่ง นอกจากการออกแบบและการคำนวณแท็งก์อย่างถูกต้องตามข้อกำหนดแล้ว การเลือกใช้วัสดุหรืออุปกรณ์ใช้งานต่างๆ ก็เป็นสิ่งสำคัญโดยอุปกรณ์ใช้งานจำเป็นต้องมีความเหมาะสมกับประเภทของสารเคมีอันตรายที่จะทำการขนส่ง

4.2.4 กระบวนการผลิตแท็งก์ติดตรึงบนรถบรรทุก

ก่อนจะกล่าวถึงกระบวนการผลิตแท็งก์ จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการก่อนการผลิตแท็งก์ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการได้มาซึ่งการดำเนินการผลิตแท็งก์ โดยขั้นตอนการดำเนินการเริ่มจากฝ่ายขายของทางโรงงานฯ รับคำสั่งหรือความต้องการจากลูกค้า จากนั้นประสานงานกับฝ่ายออกแบบ เพื่อทำการออกแบบและการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดของแท็งก์ตามความต้องการของลูกค้าและเป็นไปตามข้อกำหนดการสร้างแท็งก์ โดยจะมีเอกสารสำหรับส่วนนี้ เรียกว่า เอกสารแท็งก์ต้นแบบ (design type) ซึ่งจะประกอบด้วย รายการคำนวณ ตัวแบบแท็งก์ และวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะใช้ในการผลิต ซึ่งโรงงานฯ จะต้องนำเอกสารนี้ยื่นต่อกรมโรงงานฯ เพื่อขอรับการรับรองแท็งก์ต้นแบบ เมื่อได้รับการรับรองแล้ว ฝ่ายวางแผนการผลิตของโรงงานฯ จะทำการวางแผนและกำหนดระยะเวลาการผลิตแท็งก์และการประกอบแท็งก์เข้ากับตัวรถบรรทุกเพื่อส่งแผนงานให้แก่ฝ่ายผลิต เพื่อเริ่มดำเนินการผลิตแท็งก์ต้นแบบตามแผนที่วางไว้ โดยในกระบวนการผลิตจะมีเอกสารที่เรียกว่า รายงานการผลิต (Manufacturer’s Data Report, MDR) เป็นเอกสารที่รวบรวมข้อมูลทุกอย่างในการผลิตแท็งก์ หลังจากทำการผลิตแท็งก์ต้นแบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทางโรงงานฯ จะว่าจ้างให้หน่วยงานตรวจสอบ (inspection body) เข้ามาทำการทดสอบคุณภาพแท็งก์แบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT) แท็งก์ที่ผ่านการทดสอบจะได้รับใบรับรองการ

ทดสอบและเอกสารการรับรองจะถูกรวบรวมเป็นประวัติการผลิตแท็งก์ใน MDR จากนั้น โรงงานฯ จะนำ MDR ของแท็งก์ต้นแบบ ยื่นขอการอนุมัติจากกรมโรงงานฯ เมื่อผ่านการรับรองและได้รับการอนุมัติให้ดำเนินการผลิตจากกรมโรงงานฯ แล้ว โรงงานฯ สามารถดำเนินการผลิตแท็งก์จริงได้ เมื่อทางโรงงานฯ ผลิตแท็งก์ลูกจริงเสร็จเรียบร้อย จะทำการว่าจ้างให้หน่วยงานตรวจสอบทำการทดสอบคุณภาพแท็งก์แบบไม่ทำลาย เมื่อผ่านการทดสอบ ทางโรงงานฯ จะรวบรวมเอกสารผลการรับรองการทดสอบจัดทำเป็นข้อมูลใน MDR ของแท็งก์จริง และเสนอให้กรมโรงงานฯ ตรวจสอบอีกครั้ง เพื่อให้กรมโรงงานฯ อนุมัติการใช้งานแท็งก์ ออกใบรับรองผลการทดสอบและออกเลขทะเบียนแท็งก์อย่างถูกต้องตามกฎหมาย และสุดท้ายทางโรงงานฯ สามารถส่งมอบแท็งก์ให้แก่ลูกค้าเพื่อนำไปใช้งานได้ สำหรับภาพรวมของการผลิตตั้งแต่การรับคำสั่งผลิตจากลูกค้า จนถึงการส่งมอบแท็งก์ให้แก่ลูกค้า แสดงดังภาพที่ 4.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



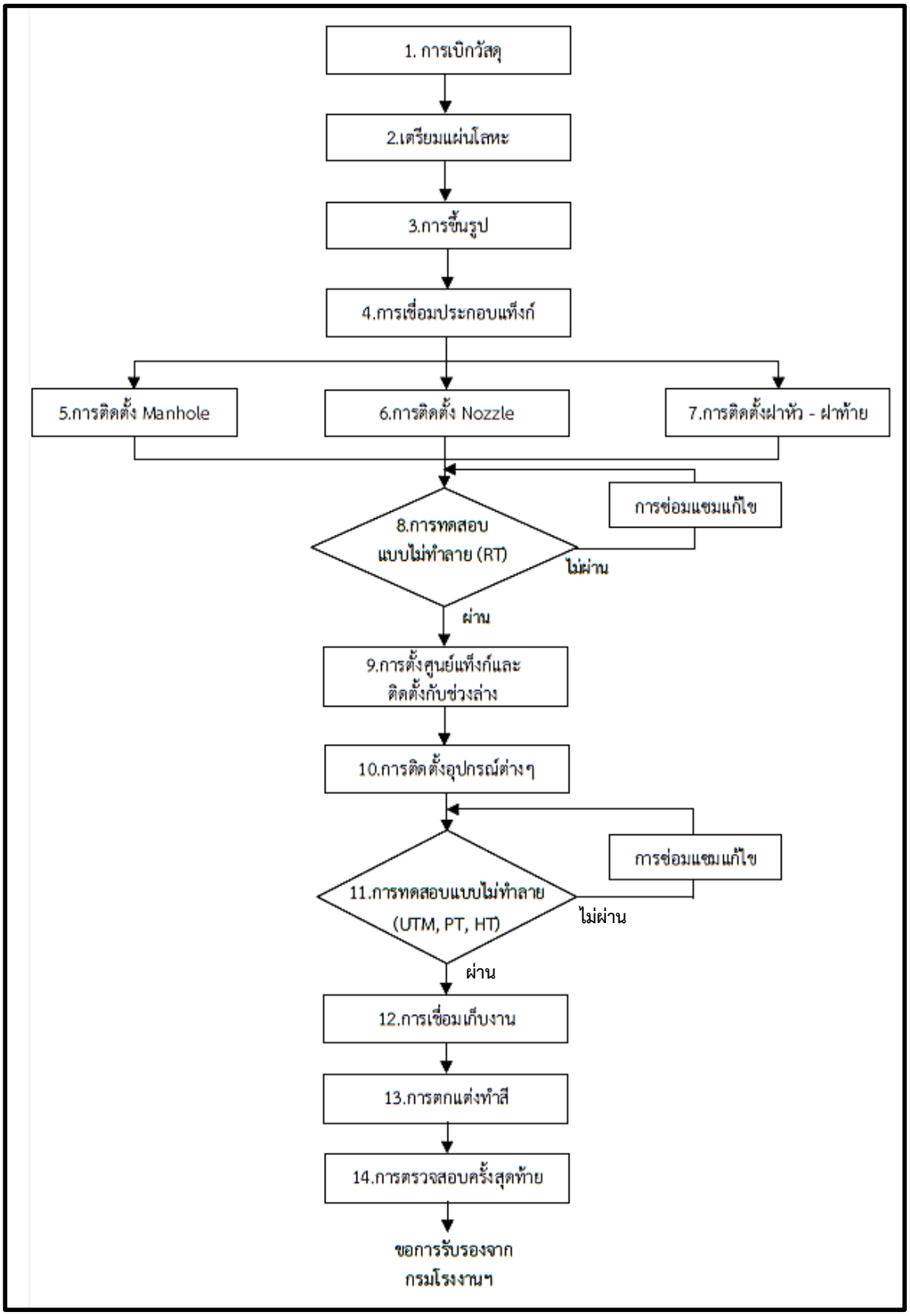
ภาพที่ 4.4 ภาพรวมการดำเนินการผลิตแท็งก์

สำหรับการผลิตแท็งก์ใช้เวลาในการผลิตประมาณ 60 วันต่อแท็งก์ 1 ลูก โดยการผลิตจะเริ่มจากฝ่ายเตรียมชิ้นงานทำการเบิกวัสดุหรือชิ้นส่วนต่างๆ มาจากฝ่ายวัสดุคงคลัง จากนั้นทำการเชื่อมติดตั้งช่วงล่างซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับตัวรถบรรทุกและเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของตัวแท็งก์ ในส่วนของขั้นตอนการเชื่อมตัวแท็งก์จะเริ่มจากการวัดขนาดและตัดแผ่นโลหะให้ตรงตามแบบแท็งก์ แล้วทำการขึ้นรูปประกอบโดยการนำแผ่นโลหะเข้าเครื่องม้วน (rolling machine) เพื่อให้แผ่นโลหะม้วนอยู่ในลักษณะเป็นวงกลม นำแผ่นโลหะมาต่อเข้ากันเพื่อประกอบเป็นแท็งก์ จากนั้นแผนกเชื่อมโลหะจะทำการเชื่อมติดแผ่นโลหะดังกล่าวเข้าด้วยกันโดยการเชื่อมประสานทั้งด้านนอกและด้านในแท็งก์ จากนั้นพนักงานจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Control, QC) ของโรงงานฯ จะทำการตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมด้วยสายตา (Visual Inspection, VI) ว่ารอยเชื่อมมีข้อบกพร่องที่อาจส่งผลต่อคุณภาพแท็งก์หรือไม่ กรณีที่มีลักษณะข้อบกพร่องพนักงาน QC จะทำการแจ้งไปยังช่างเชื่อม และเขียนสัญลักษณ์ไว้บนแท็งก์ในตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องเพื่อให้ช่างเชื่อมทำการเชื่อมแก้ไข เมื่อประกอบและเชื่อมเป็นตัวแท็งก์เสร็จแล้ว หน่วยงานตรวจสอบ (inspection body) จะเข้ามาทำการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีรังสี (Radiographic Testing, RT) กรณีที่ไม่ผ่านการทดสอบหน่วยงานตรวจสอบ จะแจ้งลักษณะข้อบกพร่องและตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องบนรอยเชื่อมบนตัวแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบมายังโรงงานฯ แล้วโรงงานฯ จะทำการเชื่อมซ่อมแซมแก้ไข จากนั้นหน่วยงานตรวจสอบ เข้ามาตรวจสอบคุณภาพอีกครั้ง โดยดำเนินการในลักษณะเดิมจนกว่าแท็งก์จะผ่านการทดสอบคุณภาพ โรงงานฯ จึงจะดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่อไป

หลังผ่านการทดสอบคุณภาพโดยวิธีรังสีแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการยกตั้งศูนย์แท็งก์และติดตั้งแท็งก์กับช่วงล่าง ทำการติดตั้งอุปกรณ์โครงสร้างและอุปกรณ์ใช้งานกับตัวแท็งก์ เจียรแท็งก์ทั้งภายในและภายนอก และเชื่อมเก็บงานเพื่อให้เกิดความเรียบร้อยและสวยงาม จากนั้นโรงงานฯ จะทำการทดสอบหารอยรั่วของแท็งก์โดยการใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Test) เมื่อผ่านการทดสอบหน่วยงานตรวจสอบ ก็จะเข้ามาทดสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายอีกครั้งหนึ่ง โดยจะทำการทดสอบความหนาด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM) และ การทดสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing, PT) กรณีที่แท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบหน่วยงานตรวจสอบจะแจ้งลักษณะข้อบกพร่องและตำแหน่งของข้อบกพร่องที่ไม่ผ่านการทดสอบมายังโรงงานฯ แล้วทางโรงงานฯ จะดำเนินการซ่อมแซมแก้ไข จากนั้นหน่วยงานตรวจสอบจะเข้ามาทดสอบคุณภาพอีกครั้ง เมื่อผ่านการทดสอบโรงงานฯ จะดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่อไป คือ การเชื่อมเก็บงานภายนอกต่างๆ ให้สมบูรณ์เรียบร้อยและทำการตกแต่งแท็งก์ให้มีความสวยงามได้แก่ การทำสี และสัญลักษณ์

ต่างๆ บนแท็งก์ และขั้นตอนสุดท้ายคือ การตรวจสอบความเรียบร้อยของแท็งก์อีกครั้งหนึ่ง ก่อนการดำเนินเรื่องเพื่อขอการรับรองแท็งก์จากกรมโรงงานฯ โดยผังกระบวนการผลิต แสดงดังภาพที่ 4.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.5 การผลิตแท็งก์

4.2.5 ขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตแท็งก์

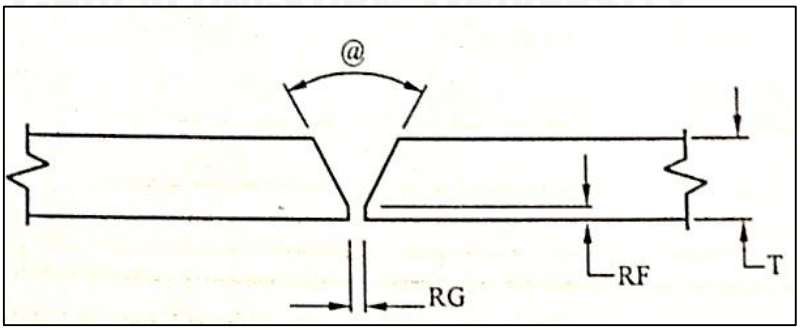
ดำเนินการศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำงานในแต่ละส่วนของการผลิตแท็งก์ ดังนี้

1) การเบิกวัสดุ

พนักงานแผนกชิ้นส่วนในฝ่ายผลิต มีหน้าที่เบิกรับวัสดุมาจากฝ่ายวัสดุคงคลัง โดยวัสดุ ได้แก่ แผ่นโลหะ อุปกรณ์โครงสร้าง และอุปกรณ์ใช้งานตัวแท็งก์ วิธีการทำงานคือ พนักงานแผนกชิ้นส่วนจะนำเอกสารใบเบิกมาทำการเบิกรับวัสดุมาจากฝ่ายวัสดุคงคลัง จากนั้นทำการตรวจสอบวัตถุดิบดังกล่าวให้เป็นไปตามใบเบิก ทั้งประเภทหรือชนิดของวัตถุดิบ ขนาด และจำนวน เพื่อการเตรียมพร้อมก่อนการนำวัสดุเข้าสู่กระบวนการผลิต ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเบิกวัสดุ คือ แผ่นโลหะหรืออุปกรณ์ติดตั้งต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ ซึ่งการตรวจพบมักจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะและขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

2) การเตรียมแผ่นโลหะ

เป็นขั้นตอนในการจัดเตรียมแผ่นโลหะ ให้ได้คุณสมบัติของโลหะที่เป็นไปตามใบสั่งงาน เพื่อส่งต่อให้ขั้นตอนถัดไป การควบคุมการทำงานทำโดยการตรวจสอบจากใบรับรองสินค้า (mill certification) ของแผ่นโลหะให้ตรงกับใบสั่งงาน เพื่อให้ประเภท ความหนา และขนาดของแผ่นโลหะที่จะนำมาใช้ในการผลิตแท็งก์มีความถูกต้องและเป็นไปตามต้นแบบ นอกจากนี้จะต้องทำการเตรียมแผ่นโลหะโดยการบากร่องที่ขอบของแผ่นโลหะโดยใช้เครื่องเจียระไนที่มีการตั้งค่าที่เหมาะสม และการเลือกใช้ล้อเจียรที่มีคุณสมบัติตรงกับประเภทและขนาดของแผ่นโลหะ แล้วทำการเจียรหรือบากร่องแผ่นโลหะโดยมีขนาดมุม ความกว้างและความหนาตามที่ออกแบบไว้ เพื่อเตรียมสำหรับการเชื่อมที่สมบูรณ์ แสดงดังภาพที่ 4.6

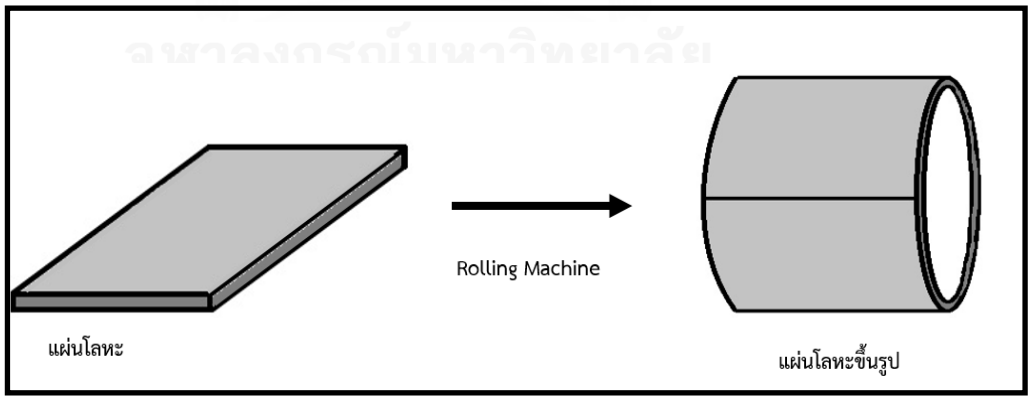


ภาพที่ 4.6 การเตรียมแผ่นโลหะ โดยการออกแบบรอยต่อแบบต่อชนรูปตัว V

จากภาพที่ 4.6 RG (Root Opening) คือ ระยะห่างระหว่างรอยต่อของแผ่นโลหะทั้งสองในตำแหน่งส่วนล่างของรอยต่อ ขนาดที่เหมาะสมคือค่าระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 มิลลิเมตร สัญลักษณ์ @ (Groove Angle) คือ ผลรวมของมุมของการบากแผ่นโลหะทั้งสอง ขนาดของมุมที่เหมาะสม คือ 60 องศาเซลเซียส บวกลบคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส สัญลักษณ์ RF (Root Face) คือ ขนาดของผิวหน้าตัดของรอยต่อ ที่ตัดจากส่วนล่างสุดของรอยต่อมีขนาดที่เหมาะสมคืออยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 มิลลิเมตร และสัญลักษณ์ T (Plate Thickness) คือ ขนาดความหนาของชิ้นงาน และ Groove Face คือ ผิวหน้าเอียงของรอยต่อจะต้องมีความเรียบเนียนอย่างสม่ำเสมอ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ คือ การบากร่องไม่ได้ระยะตามต้นแบบ พบข้อบกพร่องโดยการตรวจวัดโดยพนักงานหรือการสุ่มตรวจจากหัวหน้างาน นอกจากนี้ ในขั้นตอนนี้จะตรวจพบข้อบกพร่องแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบด้วย ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเบิกวัสดุ

3) การขึ้นรูป

เป็นขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นโลหะให้มีลักษณะเป็นวงโดยใช้เครื่องม้วนโลหะ (rolling machine) และมีเครื่องยึดจับชิ้นงาน (jig fixture) สำหรับจับยึดชิ้นงานเพื่อช่วยให้การทำงานสะดวกและรวดเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้การขึ้นรูปเป็นไปตามขนาดที่ได้ออกแบบไว้ หลังการขึ้นรูปแผ่นโลหะจะได้โครงสร้างของแท็งก์ก่อนถึงขั้นตอนการเชื่อมโลหะ ลักษณะของการม้วนขึ้นรูปแผ่นโลหะ แสดงดังภาพที่ 4.7 สำหรับขั้นตอนนี้จะเกิดข้อบกพร่องแผ่นโลหะมีการบิดงอซึ่งเกิดจากการม้วนแผ่นโลหะด้วยเครื่องม้วน



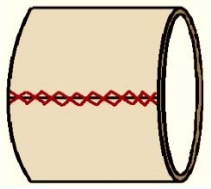
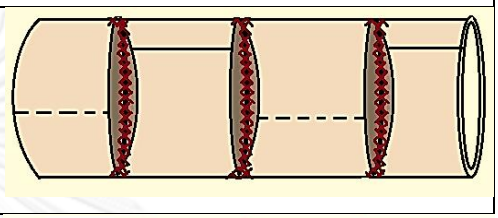
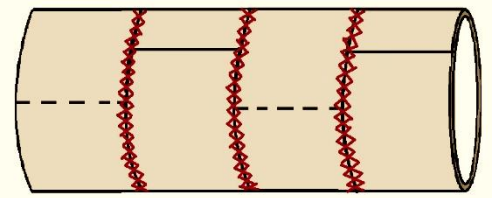
ภาพที่ 4.7 การขึ้นรูปแผ่นโลหะเป็นตัวแท็งก์ก่อนการเชื่อม

4) การเชื่อมประกอบแท็งก์

ขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนย่อย คือ ขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์ ขั้นตอนการเชื่อมแผ่นกั้นช่อง และขั้นตอนการเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์ โดยหลังจากแผ่นโลหะเข้าเครื่องม้วน จนอยู่ในลักษณะเป็นวงแล้ว ช่างเชื่อมจะทำการเชื่อมประสานเพื่อให้แผ่นโลหะเชื่อมติดกัน เรียกว่า การเชื่อมเสื้อแท็งก์ จากนั้น ทำการนำเสื้อแท็งก์มาเชื่อมติดกับแผ่นกั้นช่องแล้วทำการเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์ทั้งหมดเข้าด้วยกัน โดยกระบวนการในการเชื่อมโลหะในการเชื่อมประกอบแท็งก์นั้นใช้กระบวนการเชื่อม 2 กระบวนการ คือ การเชื่อมอาร์กทังสเตนโดยใช้แก๊สปกคลุมแนวเชื่อม (GTAW หรือ TIG) และการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลั๊กซ์ (SMAW หรือ MIG-MAG) โดยในขั้นตอนย่อยของการเชื่อมโลหะจะใช้กระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกันตามมาตรฐาน ASME แสดงขั้นตอนย่อยและรูปภาพประกอบ ดังตารางที่ 4.1 ในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์มักจะเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะ ได้แก่ แนวเชื่อมมีรอยเว้าหรือเรียกว่าการเชื่อมไม่เต็ม แนวเชื่อมมีรอยแตก แนวเชื่อมไม่ได้ขนาดที่เหมาะสม แนวเชื่อมมีรอยกัดแหว่ง และเสื้อแท็งก์มีลักษณะเป็นคลื่น โดยทั้ง 3 ข้อบกพร่องดังกล่าวจะตรวจพบได้โดยใช้สายตาและใช้เครื่องมือ V-WAC gauge ในการตรวจสอบแนวเชื่อม นอกจากนี้ยังมีข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ แต่ไม่สามารถตรวจสอบข้อบกพร่องประเภทนี้ได้ด้วยสายตา โดยจะพบจากการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย NDT ประเภทการตรวจสอบด้วยวิธีรังสี (RT) โดยหน่วยงานตรวจสอบ

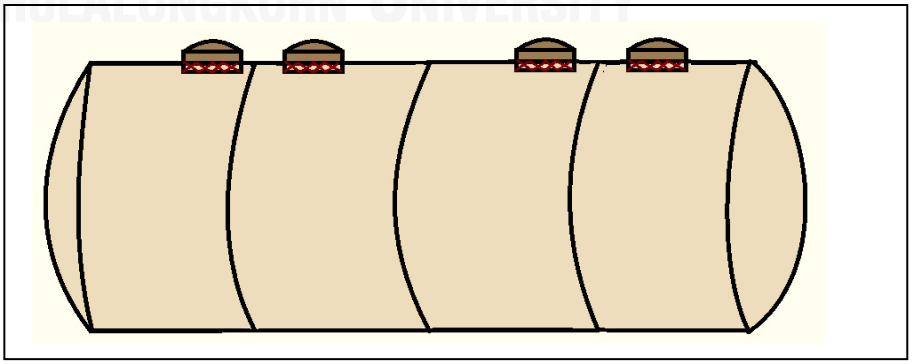
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดการเชื่อมประกอบแท็งก์

ขั้นตอนการเชื่อมประกอบ	กระบวนการเชื่อม	ภาพประกอบ
การเชื่อมเสื้อแท็งก์	TIG และ MIG-MAG	
การเชื่อมแผ่นกั้นช่อง	TIG และ MIG-MAG	
การเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์	TIG และ MIG-MAG	

5) การติดตั้งฝา manhole

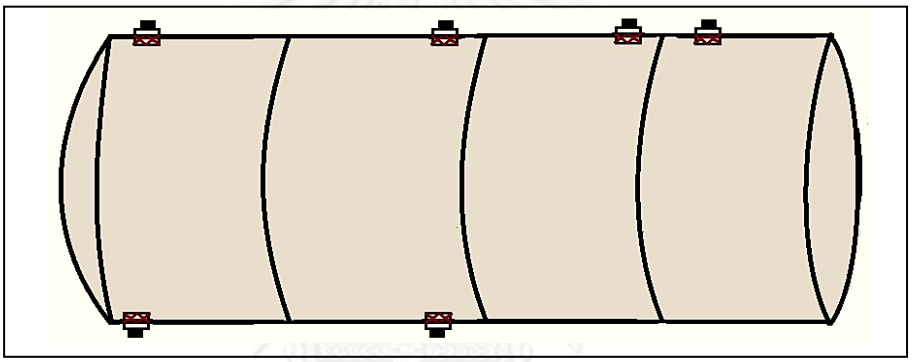
การติดตั้งฝา manhole หรือช่องสำหรับคนเข้า จะใช้กระบวนการเชื่อม MIG-MAG ในการเชื่อมประสานให้ ตัวฝา manhole ยึดติดแน่นกับตัวแท็งก์ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้คือ ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งฝา manhole ไม่ตรงกับตำแหน่งในต้นแบบ นอกจากนี้ยังเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะ คือ แนวเชื่อมมีรอยแตกและรอยเว้าหรือการเชื่อมไม่เต็ม โดยข้อบกพร่องดังกล่าวจะพบได้จากการตรวจสอบโดยหัวหน้างาน



ภาพที่ 4.8 ตำแหน่งการเชื่อมติดตั้งฝา manhole

6) การติดตั้ง nozzle

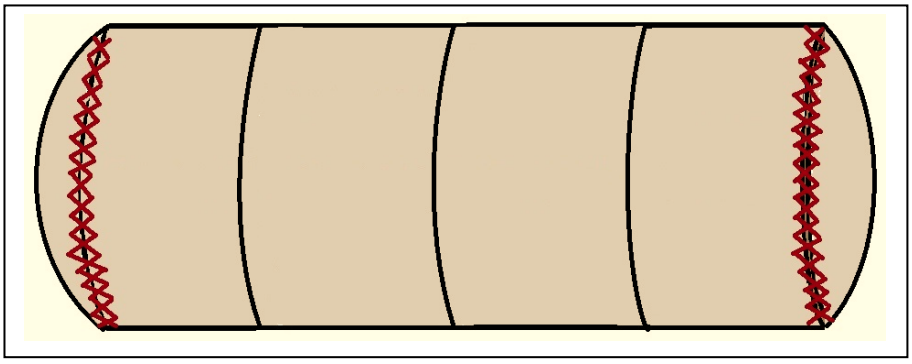
nozzle คือ อุปกรณ์ส่วนควบที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อการยึดติดระหว่างท่อ หรืออุปกรณ์ใช้งานต่างๆ เข้ากับตัวแท็งก์ โดยใช้กระบวนการเชื่อม MIG-MAG ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เป็นข้อบกพร่องเช่นเดียวกับขั้นตอนการเชื่อมติดตั้งฝา manhole คือ ตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง nozzle นั้น ไม่ตรงตามต้นแบบมีการวัดที่คลาดเคลื่อน และตำแหน่งการติดตั้ง nozzle โดยการเชื่อมโลหะนั้น ยังมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นบนแนวเชื่อมด้วย ได้แก่ แนวเชื่อมมีรอยแตกและรอยเว้าหรือการเชื่อมไม่เต็ม โดยข้อบกพร่องดังกล่าวจะพบได้จากการตรวจสอบโดยหัวหน้างาน



ภาพที่ 4.9 ตำแหน่งการติดตั้ง nozzle

7) การติดตั้งฝาหัว – ฝาท้าย

ใช้กระบวนการเชื่อม TIG และ MIG-MAG ในการเชื่อมติดตั้งฝาหัวและฝาท้ายเข้ากับตัวแท็งก์ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ คือ ภายหลังทำการเชื่อมติดฝาหัวและฝาท้ายแล้วฝามีลักษณะบิดงอ เนื่องจากโลหะเกิดความร้อนขณะทำการเชื่อมโลหะ นอกจากนี้ยังเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะอื่นๆ ด้วย ได้แก่ แนวเชื่อมมีรอยแตก แนวเชื่อมมีรอยเว้าหรือการเชื่อมไม่เต็มแนว และแนวเชื่อมมีขนาดไม่เหมาะสม โดยข้อบกพร่องดังที่กล่าวมาสามารถตรวจสอบได้หน้างานจากการสุ่มตรวจของหัวหน้างาน



ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งการเชื่อมฝาหัว-ฝาท้าย

จากขั้นตอนการผลิตแท็งก์ที่กล่าวมาในหัวข้อที่ (4) – (7) การเชื่อมโลหะจะเป็นการเชื่อมประสานทั้งแนวเชื่อมด้านในและแนวเชื่อมด้านนอกตัวแท็งก์เพื่อให้การเชื่อมเกิดความแข็งแรง การปฏิบัติงานเชื่อมจะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดในขั้นตอนงานเชื่อม (Welding Procedure Specification, WPS) โดยใน WPS จะระบุถึงกระบวนการเชื่อม วัสดุที่ใช้ในการเชื่อม รายละเอียดเกี่ยวกับชนิดและคุณสมบัติของลวดเชื่อม ขั้นตอนการทำงานเชื่อม รวมถึงค่าตัวแปรต่างๆ ในการเชื่อม

สำหรับการดำเนินการในขั้นตอนการเชื่อมโลหะของโรงงานฯ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

<u>ระยะที่ 1</u> ขั้นตอนการเตรียมการก่อนการเชื่อม

คือ ขั้นตอนการเตรียมงานต่างๆ ได้แก่ การเตรียมชิ้นงาน การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องเชื่อม การเตรียมลวดเชื่อม (สำหรับการเชื่อม TIG) ระบบป้อนลวดและตัวควบคุม (สำหรับการเชื่อม MIG) เป็นต้น โดยแต่ละงานจะมีผู้รับผิดชอบการทำงาน ดังตารางที่ 4.2

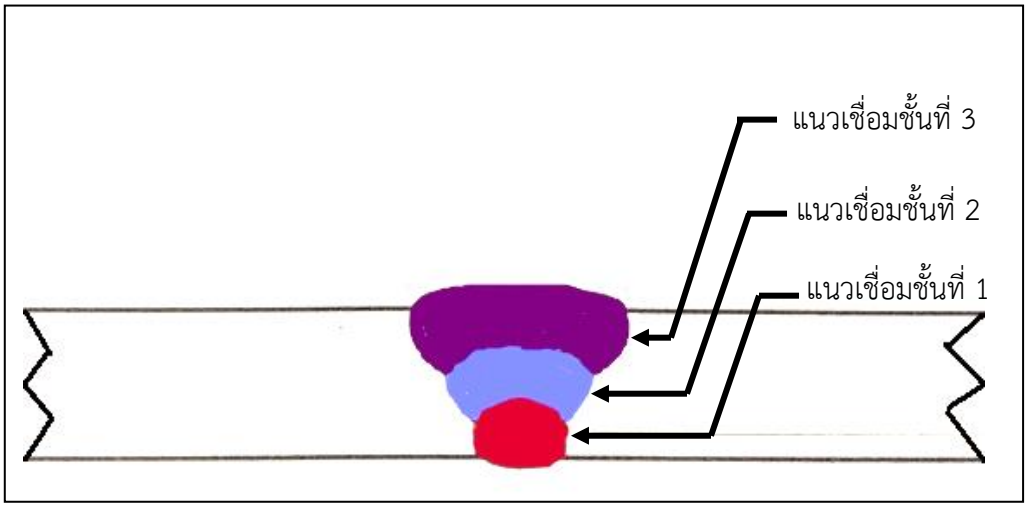
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการทำงานในขั้นตอนการเตรียมการก่อนการเชื่อม

ขั้นตอนการเตรียมการก่อนการเชื่อม	รายละเอียดการทำงาน	ผู้รับผิดชอบ
1. การเตรียมชิ้นงาน	การทำความสะอาดแผ่นชิ้นงาน	ช่างเชื่อม ในแผนกงานเชื่อม
2. การเตรียมอุปกรณ์และเครื่องเชื่อม	การเตรียมแท่งทังเสตนให้เหมาะสมกับชนิดของกระแสไฟ (สำหรับการเชื่อม TIG)	ช่างเชื่อม ในแผนกงานเชื่อม
	การตั้งค่าปัจจัยต่างๆ สำหรับเครื่องเชื่อม	หัวหน้าช่างเชื่อม ในแผนกงานเชื่อม
3. การเตรียมลวดเติม (rod)	การเลือกใช้ลวดเติมให้เหมาะสมกับงาน	ช่างเชื่อม ในแผนกงานเชื่อม
	การทำความสะอาดลวดเติม	ช่างเชื่อม ในแผนกงานเชื่อม
4. การเตรียมระบบป้อนลวดและตัวควบคุม	การกำหนดค่าปัจจัยต่างๆ (สำหรับการเชื่อม MIG)	หัวหน้าช่างเชื่อม ในแผนกงานเชื่อม
5. การเตรียมอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัย	-	ทุกคน

ระยะที่ 2 ขั้นตอนการเชื่อมโลหะ

สำหรับการทำการเชื่อมเพื่อการประสานแผ่นโลหะเข้าด้วยกันจะเริ่มจาก การเชื่อมในชั้นที่ 1 หรือแนวเชื่อมแรก หรือเรียกว่า การเชื่อมยัดไส้ (root passes) เป็นการเชื่อมโลหะแบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-automatic welding) ในส่วนที่ลึกที่สุดของรอยต่อ เพื่อให้เกิดการซึมลึกอย่างสมบูรณ์ซึ่งมีผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อม จากนั้นทำการเชื่อมชั้นที่ 2 เป็นการเชื่อมแบบอัตโนมัติ (automatic welding) เชื่อมเพื่อเติมเต็มในรอยต่อของการเชื่อม จากนั้นช่างเชื่อมจะทำการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยสารแทรกซึม PT เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องในแนวเชื่อม ในกรณีที่ไม่พบข้อบกพร่องช่างเชื่อมจะการเชื่อมทับเป็นชั้นที่ 3 โดยใช้การเชื่อมแบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-automatic welding) แต่ในกรณีที่ทำการทดสอบ PT แล้วเจอข้อบกพร่อง ช่างเชื่อมจะทำการเชื่อมซ่อมแซมแก้ไขในบริเวณที่พบข้อบกพร่องก่อน แล้วจึงทำการเชื่อมทับเป็นชั้นที่ 3 แสดงลำดับของแนวเชื่อมดังภาพที่ 4.11

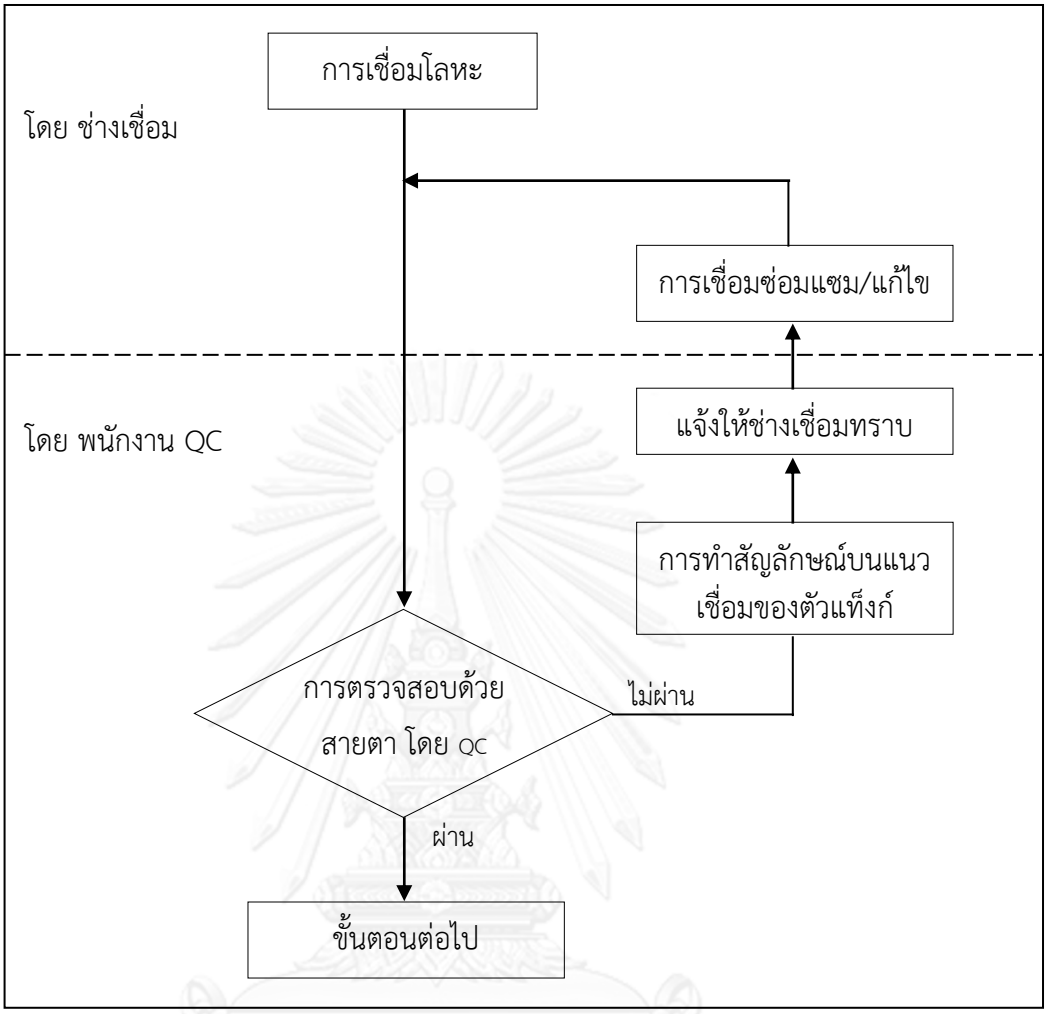


ภาพที่ 4.11 แนวเชื่อมตามลำดับการเชื่อมในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ

ระยะที่ 3 ขั้นตอนการทำงานหลังการเชื่อมโลหะ

คือ ขั้นตอนและวิธีการทำงานภายหลังการเชื่อมโลหะ ได้แก่ ขั้นตอนการทำความสะอาดรอยเชื่อมของช่างเชื่อม นอกจากนี้ พนักงาน QC จากแผนกควบคุมคุณภาพ จะทำการตรวจสอบรอยเชื่อมตรวจสอบข้อบกพร่องขณะทำการเชื่อมโดยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา ในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องหรือการเชื่อมงานไม่เรียบร้อย พนักงาน QC จะแจ้งให้ช่างเชื่อมทำการเชื่อมเพื่อแก้ไขและซ่อมแซมแนวเชื่อมนั้นๆ

สำหรับการตรวจสอบคุณภาพแท็งก์ด้วยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา ทางโรงงานฯ จะดำเนินการโดยมีพนักงานควบคุมคุณภาพ (QC) จำนวนทั้งหมด 2 คนจากฝ่ายควบคุมคุณภาพ เป็นผู้ตรวจสอบ ในตำแหน่งของจุดเชื่อมที่สำคัญ (คือเป็นตำแหน่งที่หน่วยงานตรวจสอบจะทำการทดสอบโดยวิธีรังสี) เนื่องจากจำนวนพนักงาน QC มีจำนวนจำกัด ทำให้การตรวจสอบแนวเชื่อมเป็นไปในลักษณะของการสุ่มตรวจ โดยวิธีการสุ่มตรวจเมื่อพบข้อบกพร่องจากการเชื่อมแท็งก์ พนักงาน QC จะเขียนสัญลักษณ์กำกับไว้บนแนวเชื่อมที่พบข้อบกพร่องนั้นๆ บนตัวแท็งก์ แล้วทำการแจ้งให้ช่างเชื่อมผู้รับผิดชอบงานทราบ เพื่อดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมในส่วนของข้อบกพร่องนั้น และเมื่อช่างเชื่อมทำการแก้ไขซ่อมแซมเรียบร้อยแล้วจะแจ้งพนักงาน QC เพื่อให้มาตรวจสอบอีกครั้ง ดำเนินงานเช่นนี้จนกว่าแนวเชื่อมจะเป็นไปตามมาตรฐาน แสดงขั้นตอนการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ขั้นตอนการตรวจสอบด้วยสายตาในโรงงานกรณีศึกษา

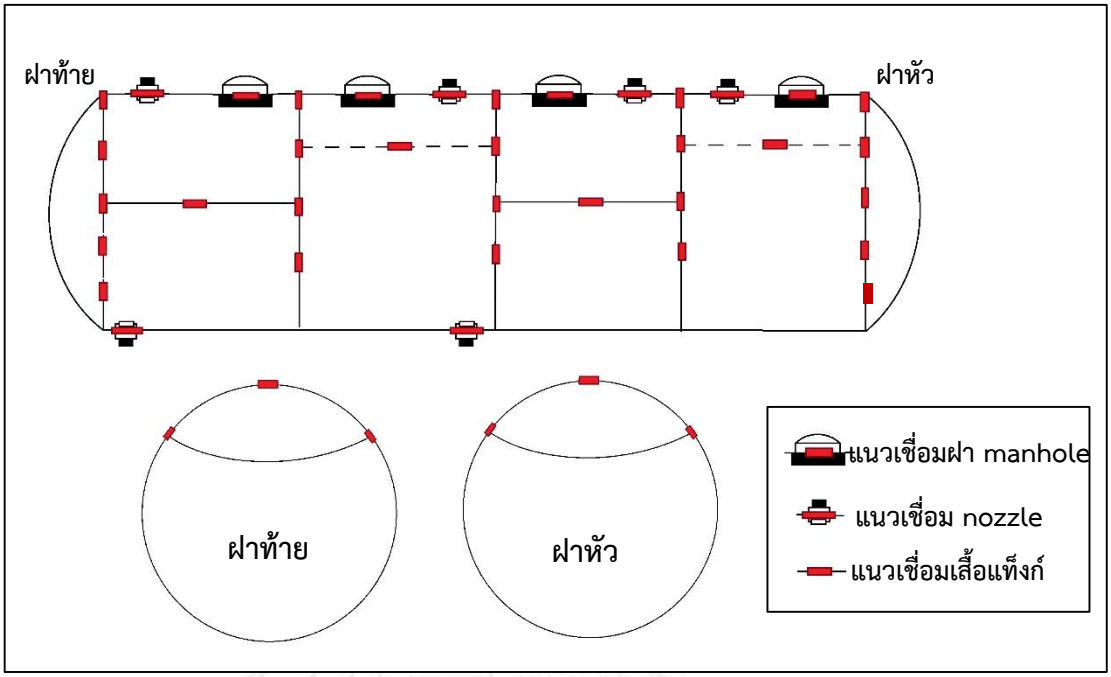
8) การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Radiographic Testing, RT)

การทดสอบแบบไม่ทำลาย RT คือ การทดสอบคุณภาพแท็งก์แบบไม่ทำลายโดยวิธีรังสี เป็นการทดสอบความไม่ต่อเนื่องของแนวเชื่อมของการประกอบแท็งก์ โดยเป็นแนวเชื่อมที่จะได้รับผลกระทบจากแรงดันหรือความร้อน ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของโครงสร้างแท็งก์ อีกทั้งยังเป็นการตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในระหว่างการเชื่อมเพื่อสร้าง เป็นต้น การดำเนินการในโรงงานฯ คือ เมื่อมีแท็งก์ผ่านขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่สมบูรณ์แล้ว โรงงานจะพิจารณาและดำเนินการว่าจ้างให้หน่วยงานตรวจสอบเข้ามาทำการตรวจสอบคุณภาพแท็งก์ด้วยวิธี RT โดยอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดสอบจะผ่านการสอบเทียบมาตรฐาน (calibration) หน่วยงานตรวจสอบจะเป็นผู้เตรียมเข้ามา ช่วงเวลาของการตรวจสอบจะเป็นช่วงเวลาที่พนักงานและช่างเชื่อมพักการทำงานในช่วงเวลา 12.00 นาฬิกา แสดงรูปขณะทำการตรวจสอบ ดังภาพที่ 4.13

ภาพที่ 4.13 การทดสอบแบบไม่ทำลายโดยวิธีรังสี (RT) จากหน่วยงานตรวจสอบ

การไม่ผ่านการทดสอบ RT นั้นมีสาเหตุมาจากเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะจึงทำให้เมื่อมีการทดสอบ RT แล้วเกิดความไม่ต่อเนื่องของแนวเชื่อมบนตัวแท็งก์ โดยจากข้อมูลผลการตรวจสอบจากหน่วยงานทดสอบ พบว่า สาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมเกิดความไม่ต่อเนื่องมีอยู่ 4 สาเหตุ คือ การเกิดข้อบกพร่องรูพรุน รอยแตก การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ และรอยเชื่อมไม่เต็ม ข้อบกพร่องดังกล่าวจะเกิดขึ้นด้านในเนื้อเชื่อม ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

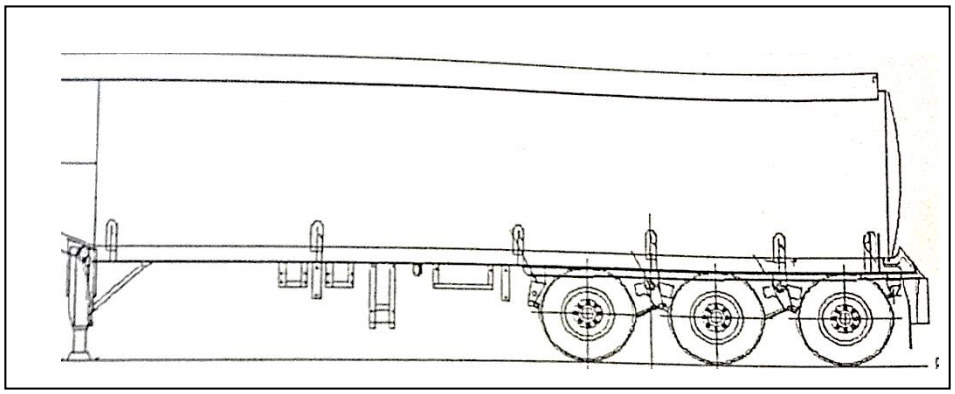
สำหรับแท็งก์บรรจุวัตถุอันตรายประเภทแท็งก์ติดตรึง จะมีการกำหนดตำแหน่งแนวเชื่อมบนตัวแท็งก์สำหรับการทดสอบ RT ได้แก่ แนวเชื่อมเสื้อแท็งก์ภายใน-นอกจำนวน 26 ตำแหน่ง แนวเชื่อมฝาแท็งก์ทั้งฝาหัวและฝาท้าย ฝาละ 3 ตำแหน่ง แนวเชื่อม manhole 4 ตำแหน่ง และแนวเชื่อม nozzle 6 ตำแหน่ง รวมทั้งหมด 39 ตำแหน่ง แสดงดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ตำแหน่งแนวเชื่อมบนแท็งก์สำหรับการทดสอบ RT

9) การตั้งศูนย์แท็งก์และการติดตั้งกับช่วงล่าง

การตั้งศูนย์แท็งก์ คือ การติดตั้งแท็งก์เข้ากับช่วงล่างหรือการติดตั้งแท็งก์กับโครงสร้างหลักของรถบรรทุก รวมถึงเพลาหน้าและหลังของล้อรถสำหรับการรองรับแท็งก์นั้นเอง โดยการตั้งศูนย์แท็งก์จะต้องปรับตั้งค่ามุมต่างๆ ระหว่างตัวแท็งก์กับช่วงล่างซึ่งเป็นโครงของรถบรรทุก ให้มีค่าเป็นไปตามค่าที่ได้ออกแบบไว้ ภาพที่ 4.15 แสดงลักษณะการตั้งศูนย์แท็งก์และการติดตั้งแท็งก์กับช่วงล่าง ขั้นตอนการตั้งศูนย์แท็งก์ของโรงงานฯ ดำเนินการโดยการใช้เครนไฟฟ้า (crane) ยกตัวแท็งก์มาไว้บนโครงซึ่งเป็นช่างล่าง หรือที่เรียกว่า แชสซีส์ ของตัวรถบรรทุก



ภาพที่ 4.15 การตั้งศูนย์แท็งก์และการติดตั้งแท็งก์กับช่วงล่าง

10) การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

เป็นขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ทั้งอุปกรณ์โครงสร้างและอุปกรณ์ใช้งานเข้ากับตัวแท็งก์ สำหรับอุปกรณ์โครงสร้าง ได้แก่ ซองบน ท่อจรวด ขาค้ำยัน กันชนท้าย บันได อุปกรณ์ติดช่วงล่าง ตู้คอนโทรลและสลิง รอกยางอะไหล่ และบังโคลน สำหรับอุปกรณ์สำหรับใช้งานสำหรับตัวแท็งก์ โดยแท็งก์ที่สร้างสำหรับบรรจุวัตถุประเภทสารกัดกร่อน มีข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ใช้งาน เป็นไปตามข้อกำหนด TP-II

11) การทดสอบแบบไม่ทำลาย UTM, PT และ HT

การทดสอบแบบไม่ทำลายทั้ง 3 วิธีนี้ ได้แก่ การตรวจสอบความหนาด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM) การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing, PT) และการทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test) เป็นการทดสอบโดยหน่วยงานตรวจสอบ อธิบายรายละเอียดแต่ละการทดสอบ ดังนี้

- การตรวจสอบความหนาด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Thickness Measurement, UTM)

  เป็นการตรวจสอบเพื่อวัดความหนาของผนังแท็งก์ เนื่องจากความหนาของแผ่นโลหะที่นำมาใช้ในการผลิตแท็งก์ต้องมีขนาดเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ อีกทั้งข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนนของประเทศไทย (TP-II) ระบุว่า ผนังแท็งก์จะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ก่อนที่หน่วยงานตรวจสอบจะเข้ามาทำการตรวจสอบ ทางโรงงานฯ จะต้องทำความสะอาดแท็งก์ โดยเฉพาะผนังแท็งก์ที่จะทำการตรวจสอบจะต้องมี

ความสะอาดปราศจากสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นหรือสนิม เป็นต้น เนื่องจากสิ่งสกปรกเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านของคลื่นซึ่งมีผลทำให้ค่าความหนาที่ได้คลาดเคลื่อน

- การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing, PT)

เป็นการทดสอบเพื่อหาลักษณะข้อบกพร่องใดๆ บนผิวของรอยเชื่อม ทั้งในบริเวณรอยเชื่อมและบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนขณะเชื่อม โดยการทดสอบด้วยสารแทรกซึมจะเป็นการทดสอบในรูปของการใช้ สารแทรกซึม (liquid penetrant) ซึ่งสารแทรกซึมจะทำการแทรกซึมเข้าไปในรอยบกพร่องที่มีลักษณะเป็นโพรงหรือช่องว่างของแผ่นโลหะ โดยอาศัยหลักการของการแทรกซึมเข้าช่องว่างขนาดเล็ก จากนั้นทำการกำจัดสารแทรกซึมส่วนเกินที่อยู่ตามผิวภายนอกของแผ่นโลหะออก แล้วใช้สารดูดซับทำหน้าที่ดูดจับกับสารแทรกซึมที่ตกค้างออก จะทำให้สามารถตรวจพบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นได้

- การทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยแรงดันน้ำ (Hydrostatic Test)

เป็นการทดสอบแท็งก์ อุปกรณ์ใช้งานต่างๆ และระบบท่อ เพื่อทดสอบหารอยรั่วซึม การทดสอบทำโดยการใช้แรงดันน้ำตามค่าความดันคำนวณที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยความดันคำนวณ (calculation pressure) คือ ค่าความดันทางทฤษฎีโดยอย่างน้อยต้องมีค่าเท่ากับความดันทดสอบซึ่งขึ้นอยู่กับความเป็นอันตรายของสารที่จะทำการบรรจุ และต้องมีค่ามากกว่าความดันใช้งาน นอกจากนี้ยังทำการทดสอบค่าความดันจ่ายความดันบรรจุและความดันใช้งานสูงสุด ซึ่งต้องเป็นไปตามค่าความดันที่ได้คำนวณไว้

12) การเชื่อมเก็บงาน

เป็นขั้นตอนการเชื่อมเก็บหรือเจียรโลหะส่วนเกินบริเวณแนวเชื่อมจากการเชื่อมโลหะให้เรียบร้อย โดยทำการเจียรเก็บงานโดยใช้กระดาษทรายในขั้นแรกทั้งแนวเชื่อมภายในและภายนอกตัวแท็งก์ จากนั้นใช้ล้อทรายร่วมกับหินเจียรในการเจียรแผ่นโลหะ

13) การตกแต่งทำสี

การตกแต่งทำสีตัวแท็งก์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การทำสีภายในแท็งก์และการทำสีภายนอกแท็งก์

1) การทำสีภายในแท็งก์ โดยเริ่มจากขั้นตอนการพ่นทราย คือ ขั้นตอนการขัดผิวโลหะด้วยเครื่องพ่นทราย เป็นขั้นตอนการทำความสะอาดพื้นผิวของโลหะที่อาจมีคราบสกปรกหรือคาบสนิม เพื่อเป็นการเตรียมพื้นผิวก่อนการพ่นสีเพื่อให้สีสามารถยึดเกาะกับพื้นผิวแท็งก์ได้ดียิ่งขึ้น จากนั้นเป็นขั้นตอนการเคลือบสี เป็นการเคลือบเพื่อป้องกันการทำปฏิกิริยาของสารเคมีหรือตัวทำละลายที่บรรจุอยู่ภายในแท็งก์
2) การทำสีภายนอกแท็งก์ เป็นขั้นตอนการตกแต่งทำสี เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า และเป็นขั้นตอนการติดสัญลักษณ์สติ๊กเกอร์ต่างๆ ตามที่กฎหมายกำหนดเกี่ยวกับการบรรทุกสารเคมีอันตราย

ในขั้นตอนนี้นอกจากขั้นตอนทำสี ยังรวมถึงการติดตั้งสัญลักษณ์แสดงสารเคมีที่จะใช้แท็งก์ในการขนส่ง โดยแท็งก์ที่ถูกต้องตามมาตรฐานแท็งก์ติดตรึง ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม คือ ตัวแท็งก์ต้องมีการติดตั้งสัญลักษณ์ระบุรหัสแท็งก์ไว้ที่ด้านหลังของตัวแท็งก์ นอกจากนี้ ต้องมีป้ายแสดงหมายเลขสหประชาชาติของสารเคมีที่จะใช้ขนส่ง รวมถึงสัญลักษณ์แสดงประเภทสินค้าอันตราย เช่น สินค้า Class 3 เป็นต้น

สำหรับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการตกแต่งทำสี คือ การไหลย้อนของสีจากการพ่นสี โดยไหลย้อยลงมาตามแรงโน้มถ่วงของโลกและความไม่สม่ำเสมอหรือความไม่เรียบเนียนของสี โดยข้อบกพร่องทั้ง 2 มีผลต่อความสวยงามและรูปลักษณ์ภายนอกของตัวแท็งก์ ซึ่งส่งผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า นอกจากนี้ในขั้นตอนการตกแต่งทำสี ยังเกิดข้อบกพร่องการผสมสีผิดอัตราส่วนหรือผิดประเภทของสี ซึ่งมักจะตรวจพบโดยหัวหน้างาน

14) การตรวจสอบครั้งสุดท้าย

เป็นการตรวจสอบภาพรวมทั้งหมดของแท็งก์โดยฝ่ายควบคุมคุณภาพ ก่อนการดำเนินการขอการรับรองแท็งก์จากกรมโรงงานฯ การทำงานของโรงงานฯ ปัจจุบันเป็นไปในลักษณะของการสุ่มตรวจสอบ เมื่อเจอข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดที่ทำให้แท็งก์ไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบ หรือไม่เป็นไปตามข้อกำหนดพนักงาน QC จะทำการแจ้งให้หัวหน้าฝ่ายผลิตแท็งก์ทราบเพื่อการดำเนินการแก้ไข แต่ยังไม่มีการจัดทำบันทึกหรือการลงรายละเอียด

แบบลายลักษณ์อักษร ทำให้การดำเนินการของโรงงานฯ ไม่มีการจัดเก็บข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต

4.3 สภาพทั่วไปและสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแท็งก์

เนื่องจาก การทำงานของโรงงานฯ ในปัจจุบันยังไม่มีการเก็บบันทึกข้อมูลการทำงานและข้อบกพร่องในบางขั้นตอนของการผลิตทุกขั้นตอน ทำให้ไม่มีข้อมูลทางสถิติที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์สภาพปัญหาการเกิดข้อบกพร่อง งานวิจัยนี้จึงจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ ประกอบด้วย

1) เอกสารการเบิกวัสดุ ได้แก่ การเบิกแผ่นโลหะในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ และการเบิกอุปกรณ์ ในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์
2) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ
3) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนขึ้นรูป
4) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมประกอบ
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมแผ่นกั้นช่องและการเชื่อมประกอบแท็งก์
5) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ
6) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการตกแต่งทำสี

สำหรับขั้นตอนการสร้างเอกสารการตรวจสอบการทำงานอธิบายไว้ในบทที่ 6 หัวข้อ 6.2 โดย “ข้อบกพร่อง” ที่ทำการเก็บบันทึกข้อมูลในที่นี้ หมายถึง ความไม่ปกติ โดยมีลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิต ซึ่งจะส่งผลให้แท็งก์ไม่มีคุณภาพ

ดำเนินการเก็บข้อมูลในแต่ละขั้นตอนการผลิตโดยใช้แบบบันทึกลักษณะข้อบกพร่อง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2556 โดยการบันทึกผลการตรวจสอบโดยหัวหน้างาน ผลการตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่อง แสดงดัง ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตแท็งก์

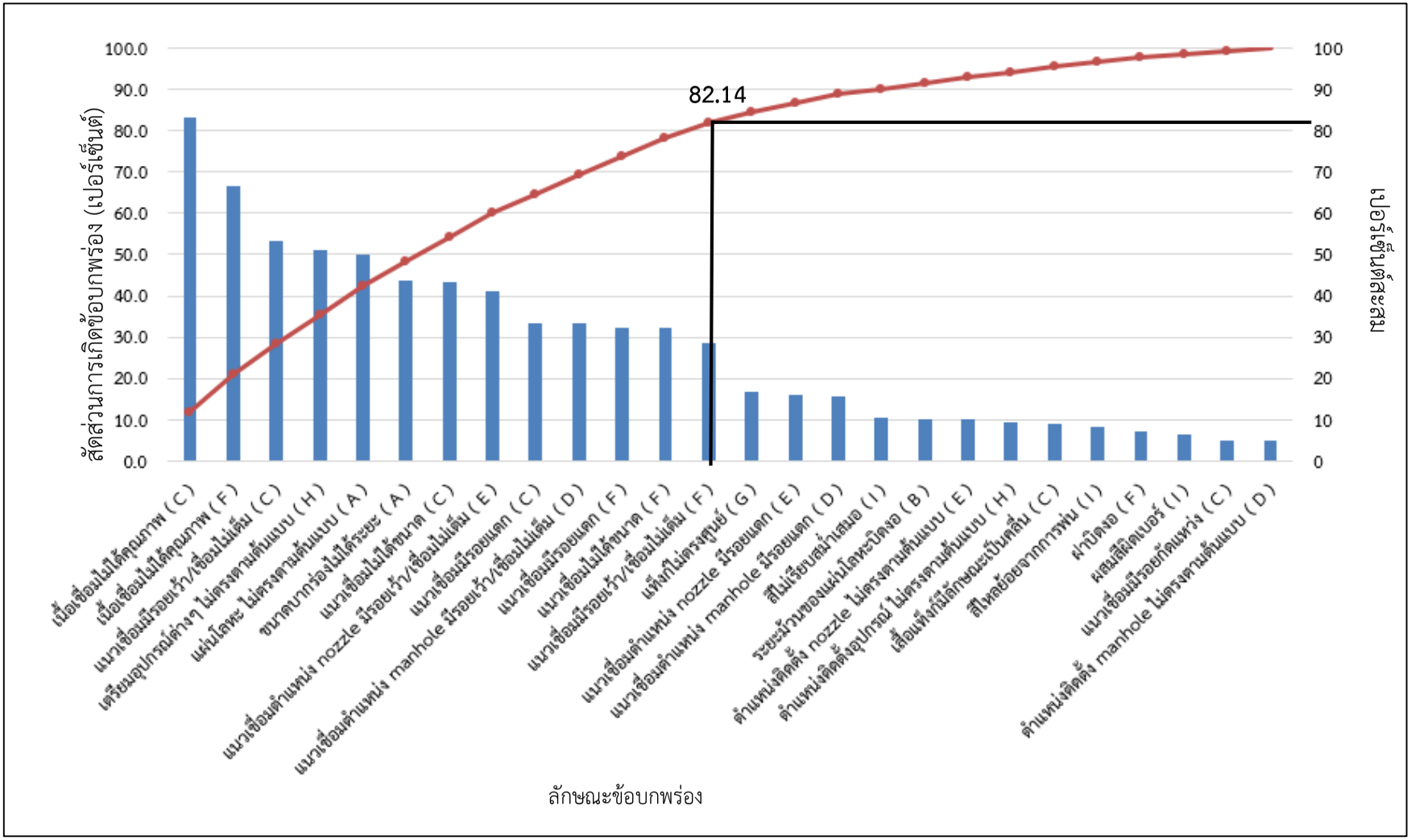
ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	จำนวนการตรวจสอบ	จำนวนที่พบข้อบกพร่อง	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์
1. การเตรียมแผ่นโลหะ (A)	แผ่นโลหะ ไม่ตรงตามต้นแบบ (A)	6	3	50.00
	ขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ (A)	57	25	43.86
2. การขึ้นรูป (B)	ระยะม้วนของแผ่นโลหะบิดงอ (B)	20	2	10.00
3. การเชื่อมประกอบแท็งก์ (C)	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (C)	60	32	53.33
	แนวเชื่อมมีรอยแตก (C)	60	20	33.33
	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด (C)	60	26	43.33
	แนวเชื่อมมีรอยกัดแหว่ง (C)	60	3	5.00
	เสื้อแท็งก์มีลักษณะเป็นคลื่น (C)	22	2	9.09
	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ (C)	6	5	83.33
4. การติดตั้ง manhole (D)	ตำแหน่งติดตั้ง manhole ไม่ตรงตามต้นแบบ (D)	20	1	5.00
	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (D)	20	6	30.00
	แนวเชื่อมมีรอยแตก (D)	20	3	15.00
5. การติดตั้ง nozzle (E)	ตำแหน่งติดตั้ง nozzle ไม่ตรงตามต้นแบบ (E)	30	3	10.00
	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (E)	36	15	41.67
	แนวเชื่อมมีรอยแตก (E)	36	6	16.67
6. การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย (F)	ฝาบิดงอ (F)	12	1	8.33
	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (F)	12	3	25.00
	แนวเชื่อมมีรอยแตก (F)	12	4	33.33
	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด (F)	12	4	33.33
	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ (F)	6	4	66.67
7. การตั้งศูนย์แท็งก์และการติดตั้งกับช่วงล่าง (G)	แท็งก์ไม่ตรงศูนย์ (G)	6	1	16.67

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	จำนวนครั้งที่ตรวจสอบ	จำนวนครั้งที่พบข้อบกพร่อง	สัดส่วนเปอร์เซ็นต์
8. การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ (H)	เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ (H)	43	22	51.16
	ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ ไม่ตรงตามต้นแบบ (H)	43	4	9.30
9. การตกแต่งทำสี (I)	สีไหลย้อยจากการพ่น (I)	48	4	8.33
	สีไม่เรียบสม่ำเสมอ (I)	48	5	10.42
	ผสมสีผิดเบอร์ (I)	48	2	4.17

จากลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตแท็งก์ ในตารางที่ 4.4 ทำการจัดทำผังพาเรโตเพื่อค้นหาลักษณะข้อบกพร่องหลัก แสดงดังภาพที่ 4.16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 4.16 ผังพาเรโตของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

จากภาพที่ 4.16 ลักษณะข้อบกพร่องหลักที่เกิดขึ้นในการผลิตที่ทำให้เปอร์เซ็นต์สะสมของข้อบกพร่องรวมกันถึง 82.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประกอบด้วยลักษณะข้อบกพร่องทั้งหมด 13 ประเภท จากทั้งหมด 6 ขั้นตอนการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ลักษณะข้อบกพร่องหลักจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์

ลักษณะข้อบกพร่อง	ขั้นตอนการผลิต
1. ขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ	การเตรียมแผ่นโลหะ
2. ชนิดแผ่นโลหะ ไม่ตรงตามต้นแบบ	
3. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	การเชื่อมประกอบแท็งก์
4. ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	
5. แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	
6. ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	
7. แนวเชื่อม มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	การติดตั้งฝา manhole
8. แนวเชื่อม มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	การติดตั้ง nozzle
9. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย
10. ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	
11. แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	
12. แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	
13. เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

จากตารางที่ 4.4 การเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ ทำให้ทางโรงงานฯ และผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ร่วมกัน ในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

จากการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนการผลิต ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ในบทนี้จึงดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของแท็งก์ โดยการเลือกใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) มาใช้เป็นเครื่องมือในวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่องและการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของแท็งก์ รวมถึงการตรวจสอบระบบการควบคุมกระบวนการผลิตในปัจจุบันของโรงงานฯ และการจัดเรียงลำดับความสำคัญเพื่อกำหนดมาตรการการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิต

สำหรับขั้นตอนในการดำเนินการวิเคราะห์ FMEA มีดังนี้

1) การจัดตั้งทีมงาน เพื่อการร่วมกันระดมสมอง (brainstorming) ในการค้นหาสาเหตุของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องที่ที่ส่งผลต่อคุณภาพในขั้นตอนการผลิตแท็งก์
2) การวิเคราะห์สาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นในขั้นตอนการผลิตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Analysis)
3) การวิเคราะห์ผลกระทบของข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตและประเมินคะแนนค่าความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity, S)
4) การวิเคราะห์และประเมินคะแนนโอกาสในการเกิดสาเหตุ (Occurrence, O) ของข้อบกพร่อง
5) การวิเคราะห์และประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection, D) จากการควบคุมกระบวนการของกระบวนการผลิตแท็งก์
6) การประเมินผลตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN)
7) การกำหนดแนวทางมาตรการการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดความเสี่ยง
8) การประเมินผลความเสียงภายหลังการแก้ไขปรับปรุง
9) การติดตามผลและการจัดทำมาตรฐาน

5.1 การจัดตั้งทีมงาน

ทำการประชุมกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในโรงงานกรณีศึกษาถึงที่มาของการวิจัย วัตถุประสงค์และขอบเขตในการดำเนินงานวิจัยนี้ พร้อมทั้งดำเนินการจัดตั้งทีมงานสำหรับการปรับปรุง

กระบวนการผลิตแท็งก์ติดตรึงสำหรับบรรจุวัตถุอันตรายประเภทสารกัดกร่อน โดยทีมงานประกอบด้วย

- หัวหน้าฝ่ายผลิต จำนวน 1 คน
- หัวหน้างานฝ่ายเตรียมแผ่นโลหะ จำนวน 1 คน
- หัวหน้าฝ่ายขึ้นรูปแท็งก์ จำนวน 1 คน
- หัวหน้าฝ่ายงานเชื่อมโลหะ จำนวน 1 คน
- หัวหน้าช่างเชื่อม จำนวน 1 คน
- พนักงาน QC จากฝ่ายควบคุมคุณภาพ จำนวน 2 คน

5.2 การวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่อง

ทำการวิเคราะห์ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่องหลักที่ได้จากการวิเคราะห์จากผังพาเรโตตามหลัก 80-20 ได้ลักษณะข้อบกพร่องทั้งหมด 13 ข้อบกพร่อง จากทั้งหมด 6 ขั้นตอน ในกระบวนการผลิต ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลักษณะข้อบกพร่องหลักจากขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์

ลักษณะข้อบกพร่อง	ขั้นตอนการผลิต
1. ขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ	การเตรียมแผ่นโลหะ
2. ชนิดแผ่นโลหะ ไม่ตรงตามต้นแบบ	
3. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	การเชื่อมประกอบแท็งก์
4. ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	
5. แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	
6. ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	
7. แนวเชื่อมตำแหน่งฝา manhole มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	การติดตั้งฝา manhole
8. แนวเชื่อมตำแหน่ง nozzle มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	การติดตั้ง nozzle
9. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย
10. ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	
11. แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	
12. แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	
13. เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

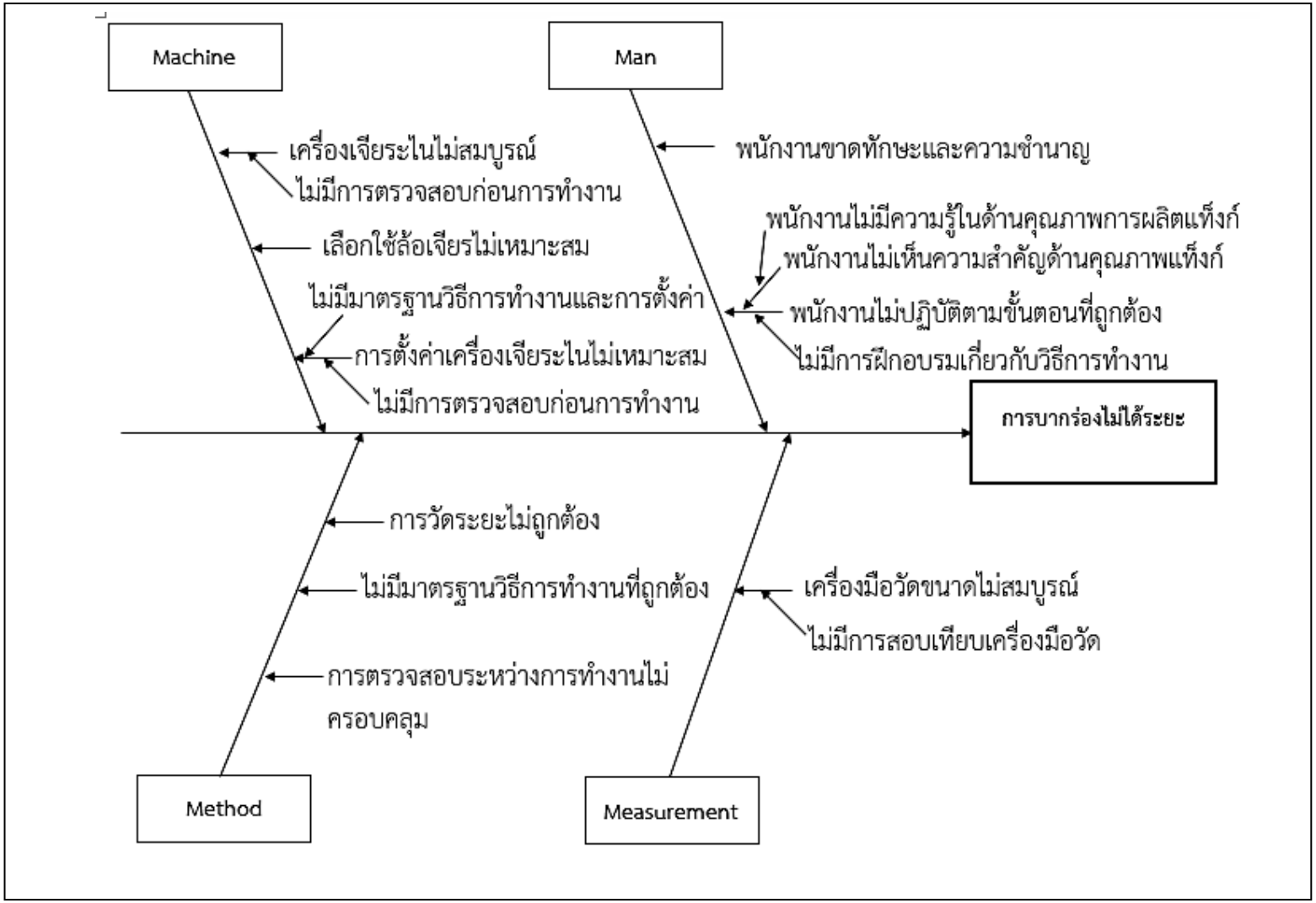
จากตาราง 5.1 จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์และขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย มีลักษณะข้อบกพร่องหลักที่เหมือนกัน ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากงานเชื่อมโลหะ คือ ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพและผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก นอกจากนี้ในขั้นตอนการเชื่อมประกอบ ขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole และขั้นตอนการติดตั้ง nozzle ก็มีข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะที่เหมือนกัน คือ ข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้าหรือเชื่อมไม่เต็ม ดังนั้น ในการวิเคราะห์ FMEA จากลักษณะข้อบกพร่องประเภทเดียวกัน จะทำการวิเคราะห์และประเมินคะแนนความรุนแรงร่วมกัน

5.2.1 ข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะ

ขนาดของการบากร่องในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ มีความสำคัญและมีผลต่อคุณภาพของแท็งก์ เนื่องจากการบากร่องแผ่นโลหะส่งผลการเชื่อมเกิดการซึมลึกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรง สำหรับการเชื่อมประกอบแท็งก์ของโรงงานฯ จะใช้รอยต่อประเภทต่อชน (butt joints) โดยใช้ฐานเปิดเป็นการต่อชนรูปตัว V เดี่ยว (single - v butt joint) ซึ่งเป็นการต่อชนสำหรับงานหนักและแผ่นโลหะมีขนาดหนา สำหรับขนาดของการบากร่องแผ่นโลหะ แสดงตัวอย่างดัง ภาพที่ 5.1 ขนาดจะขึ้นอยู่กับการออกแบบแท็งก์ ชนิดของแผ่นโลหะ และกระบวนการในการเชื่อม สำหรับการทำงานของโรงงานฯ คือในแต่ละวันของการเริ่มงาน จะมีการประชุมเพื่อแจกแจงและอธิบายการทำงานจากหัวหน้าฝ่าย

ทำการระดมสมองร่วมกับทีมงานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 5.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.1 ผังแสดงเหตุและผลข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะ

จากภาพที่ 5.1 สามารถสรุปสาเหตุตามกลุ่มของสาเหตุได้ 4 กลุ่มคือ สาเหตุจากคน สาเหตุจากเครื่องจักรกล สาเหตุจากวิธีการทำงาน และสาเหตุจากเครื่องมือวัด ดังนี้

<u>สาเหตุจากคน (man)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

1) สาเหตุหลัก พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
    - พนักงานไม่เห็นความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์ ทำให้เกิดการละเลยในการทำงานที่ถูกต้อง โดยขนาดของการบากร่องเชื่อมจะระบุขนาดไว้ในแบบ ซึ่งพนักงานจะต้องทำการศึกษาจากตัวแบบหรือได้รับการสั่งงานจากหัวหน้างาน แล้วทำการวัดระยะที่แผ่นโลหะให้ตรงตามแบบ ซึ่งความผิดพลาดจะเกิดขึ้นในกรณีที่พนักงานไม่ศึกษาแบบงานและไม่วัดระยะขนาดของการบากร่องให้ตรงตามแบบ แต่ดำเนินการบากร่องเลยเนื่องจากคิดว่าขนาดของการบากร่องไม่มีผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อม
        - พนักงานไม่มีความรู้ในด้านคุณภาพของการผลิตแท็งก์
    - ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการบากร่องแผ่นโลหะที่ถูกต้อง
2) สาเหตุหลัก พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในด้านการอ่านแบบ ที่มีการระบุขนาดของการบากร่องแผ่นโลหะ มีสาเหตุย่อย ดังนี้
    - ไม่มีการฝึกอบรม

<u>สาเหตุจากเครื่องจักรกล (machine)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก เครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์ มีสาเหตุย่อย ดังนี้
    - ไม่มีการตรวจสอบก่อนการทำงาน
4) สาเหตุหลัก เลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม
5) สาเหตุหลัก การตั้งค่าเครื่องเจียระไนไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
    - ไม่มีมาตรฐานวิธีการทำงานและการตั้งค่า
    - ไม่มีการตรวจสอบก่อนการทำงาน

<u>สาเหตุจากเครื่องมือวัด (measurement)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6) สาเหตุหลัก เครื่องมือวัดขนาดไม่สมบูรณ์ ไม่มีความเที่ยงตรง มีสาเหตุย่อย ดังนี้

- ไม่มีการสอบเทียบเครื่องมือ

<u>สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

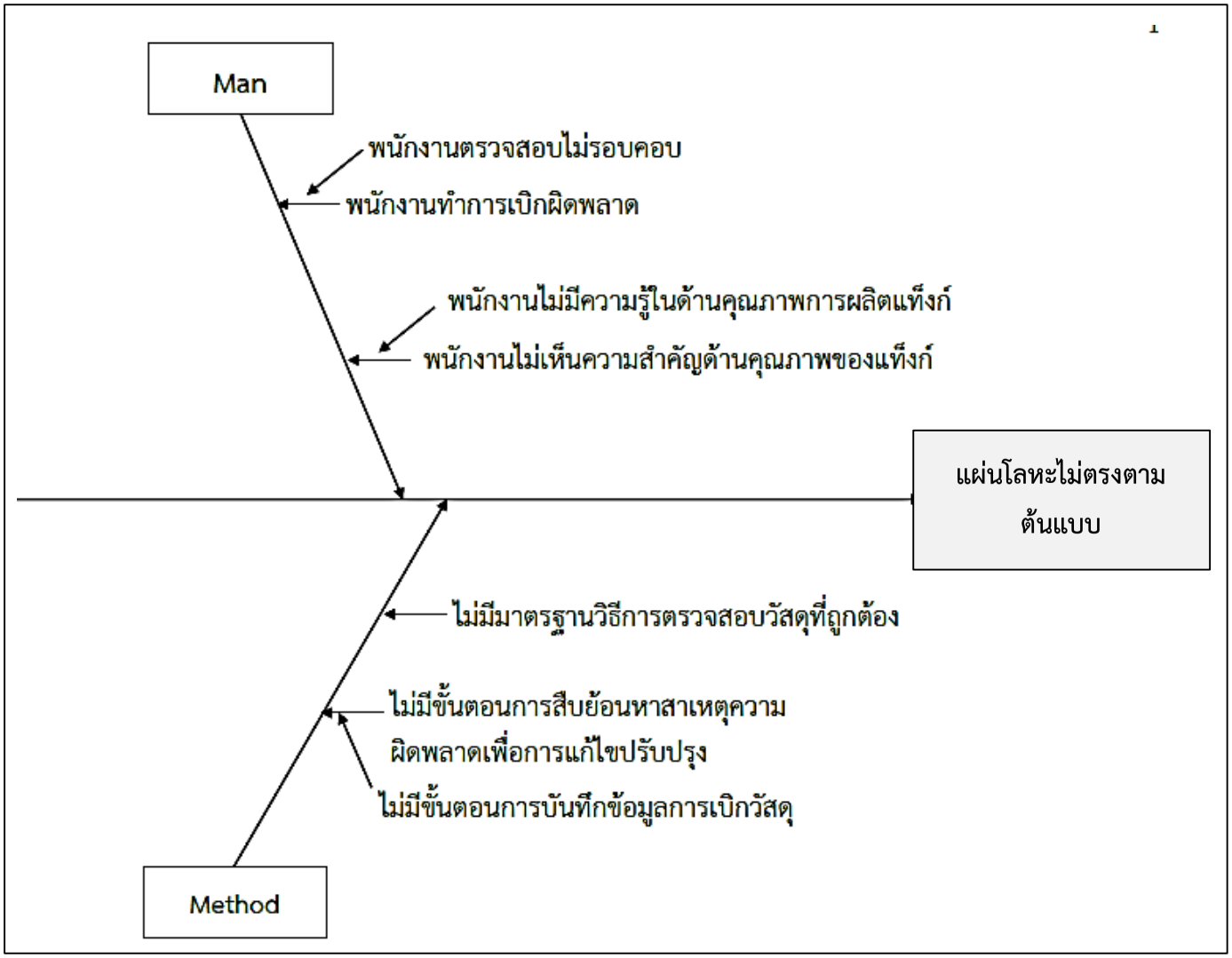
7) สาเหตุหลัก การวัดระยะไม่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย ดังนี้

- ไม่มีมาตรฐานวิธีการทำงานที่ถูกต้อง
- การตรวจสอบระหว่างการทำงานไม่ครอบคลุม

5.2.2 ข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ

จากการศึกษาข้อกำหนด TP-II ระบุว่า วัสดุหรือแผ่นโลหะ ที่นำมาใช้ในการผลิตแท็งก์ รหัสแท็งก์ L4BN นั้น ต้องเป็นโลหะที่สามารถทนต่อแรงดันได้อย่างน้อย 4 บาร์ และทนต่อการแตกเปราะจากการแตกร้าวที่เกิดจากการกัดกร่อนในช่วงอุณหภูมิ -20 ถึง +50 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังต้องเป็นวัสดุที่สามารถเชื่อมประสานได้โดยไม่มีตำหนิ เนื่องจากคุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อความปลอดภัยในการขนส่ง ดังนั้น การเลือกใช้แผ่นโลหะต้องเหมาะสมกับชนิดของแท็งก์และการนำไปใช้ในการขนส่งวัตถุอันตรายตามที่ได้ออกแบบไว้ และต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนด TP-II ทั้งชนิดหรือประเภท ขนาดและความหนา อีกทั้งการใช้แผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ จะทำให้ไม่ผ่านการขอการรับรองการใช้งานแท็งก์จากกรมโรงงานฯ แต่จากการศึกษาปัญหาในโรงงานฯ พบว่า เกิดข้อบกพร่อง คือ ในกระบวนการเตรียมแผ่นโลหะมีการตรวจพบแผ่นโลหะมีคุณสมบัติไม่ตรงตามต้นแบบ โดยเป็นการทำงานของพนักงานจากฝ่ายผลิตแท็งก์ ทำการเบิกแผ่นโลหะมาจากฝ่ายวัสดุคงคลัง เพื่อเป็นการเตรียมแผ่นโลหะเข้าสู่กระบวนการผลิตแท็งก์ แต่เกิดความผิดพลาดตรงที่แผ่นโลหะที่ทำการเบิกมาไม่ถูกต้องตามต้นแบบ ซึ่งการตรวจพบความผิดพลาดจะเกิดขึ้นหน้างานหรือขณะจะทำงานในขั้นตอนนั้นๆ ส่งผลให้สูญเสียเวลาในการนำวัสดุไปเปลี่ยนให้ถูกต้องที่ฝ่ายวัสดุคงคลัง

ทำการระดมสมองร่วมกับทีมงาน ในการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ โดยใช้ผังแสดงเหตุและผล ดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 ผังแสดงเหตุและผลข้อบกพร่องแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ

จากภาพที่ 5.2 พบสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องวัสดุไม่ตรงตามต้นแบบ ซึ่งสามารถแบ่งสาเหตุได้เป็น 2 กลุ่มคือ สาเหตุจากความผิดพลาดจากคน และวิธีการทำงาน ดังนี้

สาเหตุจากคน (man) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

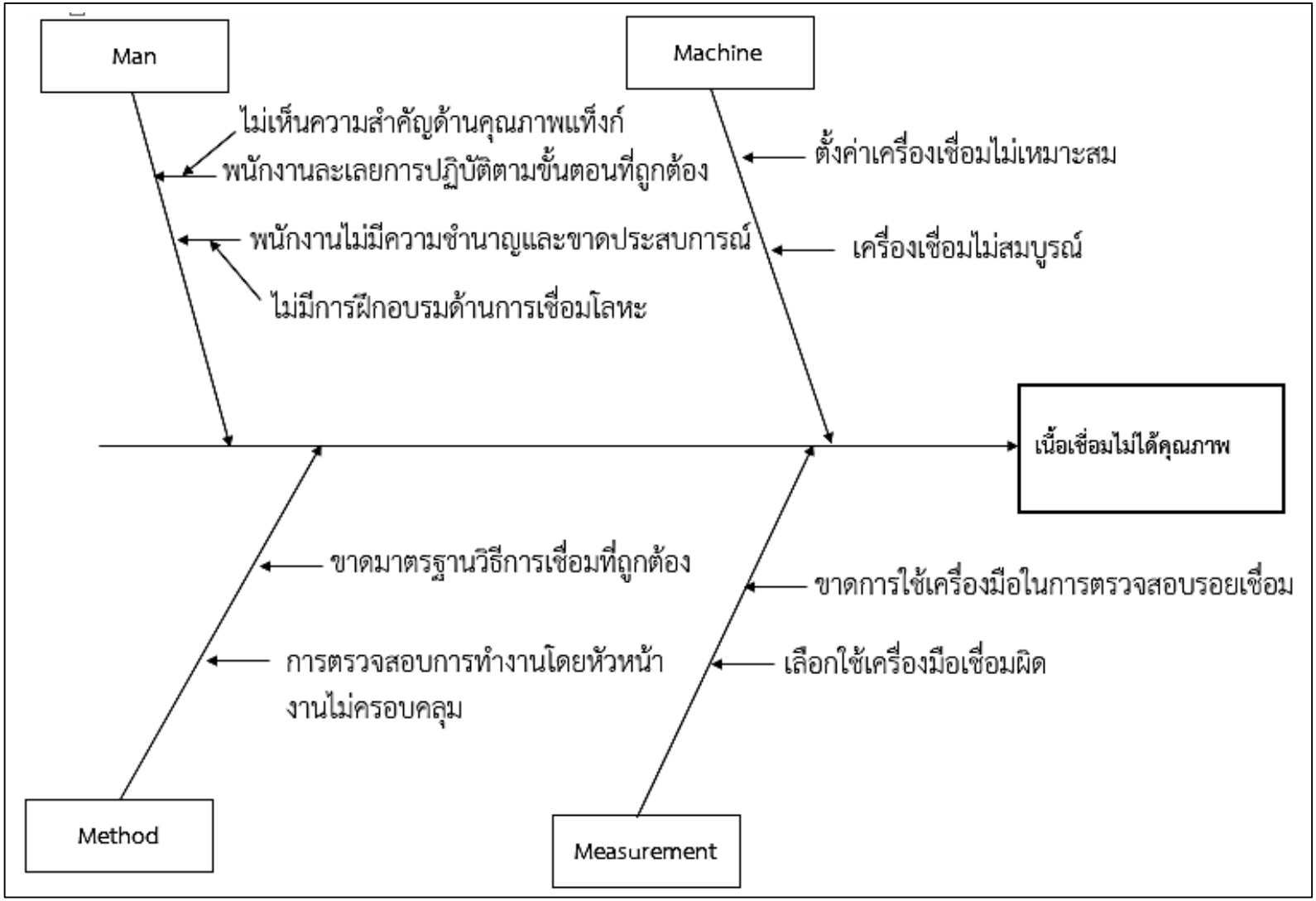
1) สาเหตุหลัก พนักงานทำการเบิกผิดพลาด มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ
2) สาเหตุหลัก พนักงานไม่เห็นความสำคัญด้านคุณภาพของแท็งก์ มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีความรู้ด้านคุณภาพการผลิตแท็งก์

สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบแผ่นโลหะ
4) สาเหตุหลัก ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะที่ผิดพลาด มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - ไม่มีขั้นตอนการบันทึกข้อมูลการเบิกแผ่นโลหะ

5.2.3 ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ

เนื้อเชื่อม หมายถึง เนื้อของโลหะที่อยู่ด้านในแนวเชื่อม เกิดจากการเชื่อมประสานระหว่างโลหะกับโลหะ ซึ่งไม่ตรวจพบได้ด้วยสายตาเปล่าต้องทำการตรวจสอบด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ หมายถึง การเกิดลักษณะข้อบกพร่องภายในเนื้อเชื่อมหรือแนวเชื่อม สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) ลักษณะข้อบกพร่องที่มีจำนวนหรือขนาดเกินกว่าค่ามาตรฐาน จะทำให้แนวเชื่อมนั้นไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพ ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของการเกิดข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพโดยผังแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 ผังแสดงเหตุ3และผลข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ

จากภาพที่ 5.3 พบสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ ซึ่งสามารถแบ่งสาเหตุได้เป็น 4 กลุ่มคือ สาเหตุจากความผิดพลาดจากคน วิธีการทำงาน การวัด และจากเครื่องจักรกล แสดงดังนี้

สาเหตุจากคน (man) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

1) สาเหตุหลัก พนักงานละเลยการปฏิบัติตามขั้นตอนงานที่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่เห็นความสำคัญในด้านคุณภาพของตัวแท็งก์ เนื่องจากยังไม่มีความรู้เกี่ยวกับคุณภาพแท็งก์และผลเสียที่อาจเกิดขึ้นหากแท็งก์ไม่มีคุณภาพ
2) สาเหตุหลัก พนักงานไม่มีความชำนาญหรือยังขาดประสบการณ์ในด้านงานเชื่อมโลหะ มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - ไม่มีการฝึกอบรมด้านงานเชื่อมโลหะ

สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก ไม่มีมาตรฐานวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง หรือโรงงานฯ อาจมีมาตรฐานวิธีการเชื่อมแต่ไม่ได้มีการฝึกอบรมหรือแนวแนวมาตรฐานวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้องแก่ช่างเชื่อม

สาเหตุจากการวัด (measurement) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

4) สาเหตุหลัก ไม่มีการใช้เครื่องมือวัดในการตรวจสอบแนวเชื่อม

สาเหตุจากเครื่องจักรกล (machine) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

5) สาเหตุหลัก การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย คือ
   - ไม่มีมาตรฐานวิธีการปรับตั้งค่าหรือค่าที่เหมาะสมสำหรับการเชื่อม

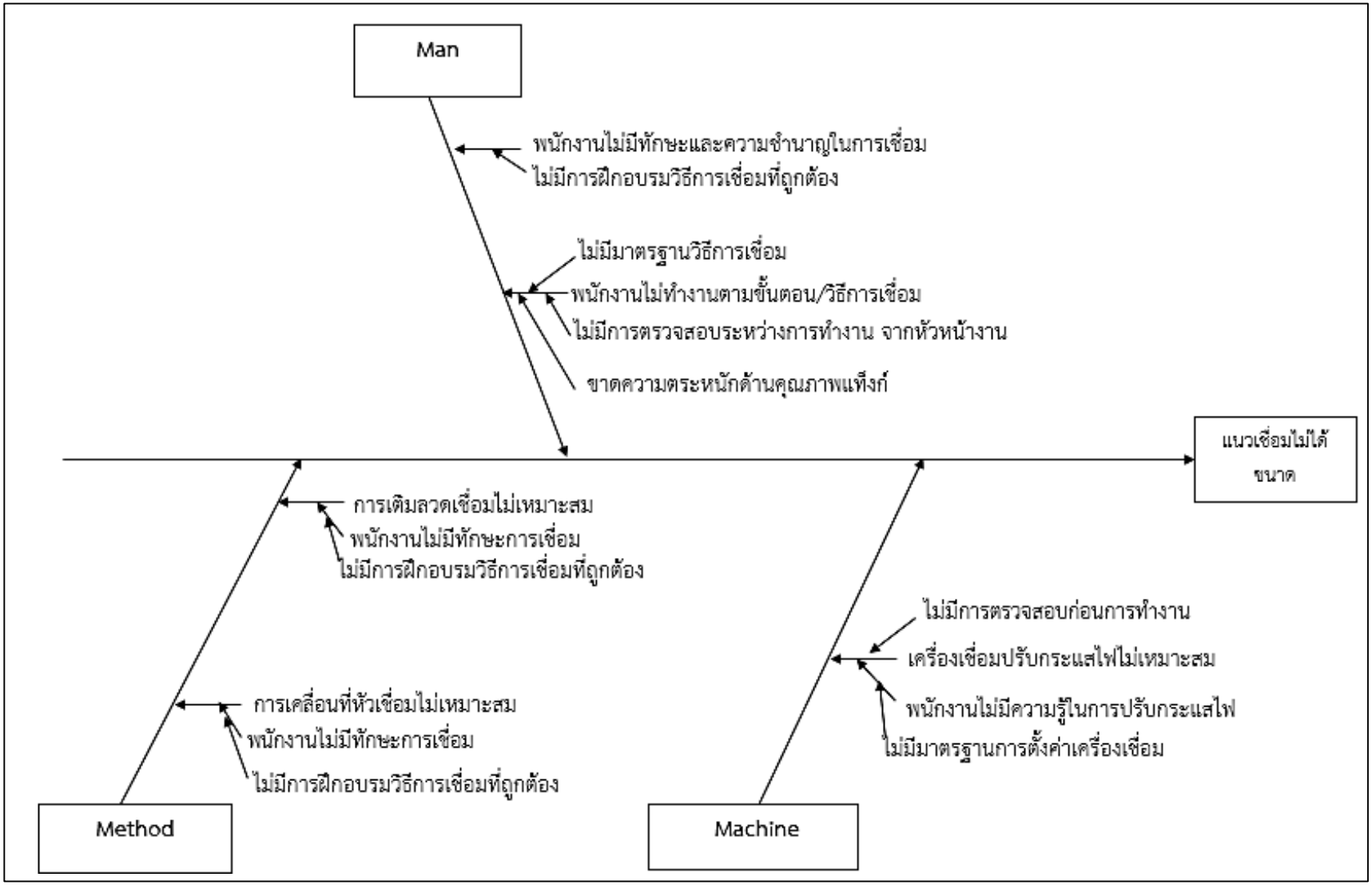
6) สาเหตุหลัก เครื่องเชื่อมไม่พร้อมใช้งาน มีสาเหตุย่อย คือ
   - ไม่มีการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องเชื่อมก่อนการดำเนินงาน

5.2.4 ข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด

ขนาดของแนวเชื่อม (weld bead size) ต้องมีขนาดเหมาะสมกับความหนาของแผ่นโลหะ พนักงาน QC จะเป็นผู้ตรวจและประเมินว่าขนาดของแนวเชื่อมมีลักษณะ

เหมาะสมหรือไม่ จากการรวบรวมข้อมูลสถิติการตรวจสอบที่หน้างาน พบข้อบกพร่องแนวเชื่อมมีขนาดไม่เหมาะสม คือมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าค่าที่ยอมรับได้ โดยขนาดของแนวเชื่อมขึ้นอยู่กับความเร็วในการเชื่อม ทิศทางในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม และกระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของการเกิดข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาดโดยผังแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 5.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.4 ผังแสดงเหตุและผลของข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด

จากผังแสดงเหตุและผลภาพที่ 5.4 สามารถสรุปสาเหตุตามกลุ่มของสาเหตุได้คือ สาเหตุจากความผิดพลาดของคน สาเหตุจากเครื่องจักรกล และสาเหตุจากวิธีการทำงาน ดังนี้

<u>สาเหตุจากคน (man)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

1) สาเหตุหลัก พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน/วิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่เห็นความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์ มีสาเหตุย่อย คือ
     - พนักงานไม่มีความรู้ในด้านคุณภาพของการผลิตแท็งก์
   - ไม่มีมาตรฐานวิธีการทำงานที่ถูกต้อง
   - ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงาน
2) สาเหตุหลัก พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการทำงาน

<u>สาเหตุจากเครื่องจักรกล (machine)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก เครื่องเชื่อมปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีความรู้ในการปรับกระแสไฟ มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีมาตรฐานการตั้งค่ากระแสไฟ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการตั้งค่ากระแสไฟที่ถูกต้อง
   - ไม่มีการตรวจสอบก่อนการทำงาน

<u>สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

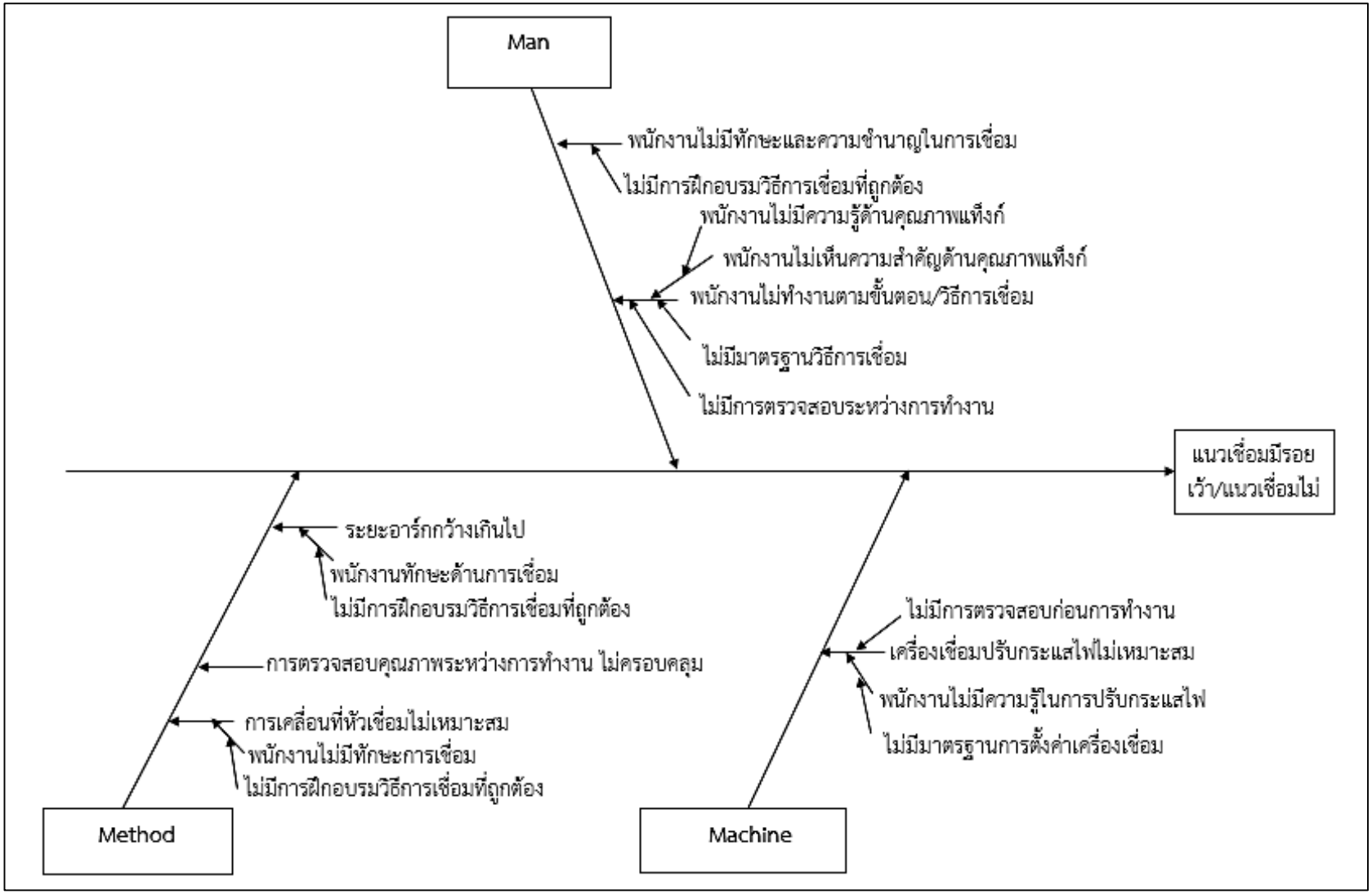
4) สาเหตุหลัก การเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีทักษะ/ความชำนาญการเชื่อม มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการเชื่อมที่ถูกต้อง
5) สาเหตุหลัก การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีทักษะ/ความชำนาญการเชื่อม มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการเชื่อมที่ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.5 ข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/รอยเชื่อมไม่เต็ม

ลักษณะข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม หมายถึง ลักษณะการเชื่อมไม่เต็มแนวเชื่อม ทำให้เห็นว่าแนวเชื่อมมีลักษณะเว้าหรือเป็นหลุม ส่งผลให้ผิวหน้าของแนวเชื่อมไม่มีความเรียบสม่ำเสมอ ในการตรวจสอบข้อบกพร่องนี้ด้วยสายตา พนักงานควบคุมคุณภาพ หรือพนักงาน QC จะทำการสุ่มตรวจแนวเชื่อมแท็งก์โดยใช้สายตาและทำการตัดสินใจเมื่อเกิดข้อบกพร่องรอยเว้าหรือรอยเชื่อมไม่เต็มว่ายอมรับได้หรือไม่ โดยอาศัยประสบการณ์ ทำการวิเคราะห์สาเหตุเกิดข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาดโดยผังแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 5.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.5 ผังแสดงเหตุและผลของข้อบกพร่องแนวเชื่อมมีรอยเว้า/แนวเชื่อมไม่เต็ม

จากผังแสดงเหตุและผลภาพที่ 5.5 สามารถสรุปสาเหตุตามกลุ่มของสาเหตุได้คือ สาเหตุจากความผิดพลาดของคน สาเหตุจากเครื่องจักรกล และสาเหตุจากวิธีการทำงาน ดังนี้

<u>สาเหตุจากคน (man)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

1) สาเหตุหลัก พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน/วิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่เห็นความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์ มีสาเหตุย่อย คือ
     - พนักงานไม่มีความรู้ในด้านคุณภาพของการผลิตแท็งก์
   - ไม่มีมาตรฐานวิธีการทำงานที่ถูกต้อง
   - ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงาน
2) สาเหตุหลัก พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการทำงาน

<u>สาเหตุจากเครื่องจักรกล (machine)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก เครื่องเชื่อมปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีความรู้ในการปรับกระแสไฟ มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีมาตรฐานการตั้งค่ากระแสไฟ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการตั้งค่ากระแสไฟที่ถูกต้อง
   - ไม่มีการตรวจสอบก่อนการทำงาน

<u>สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

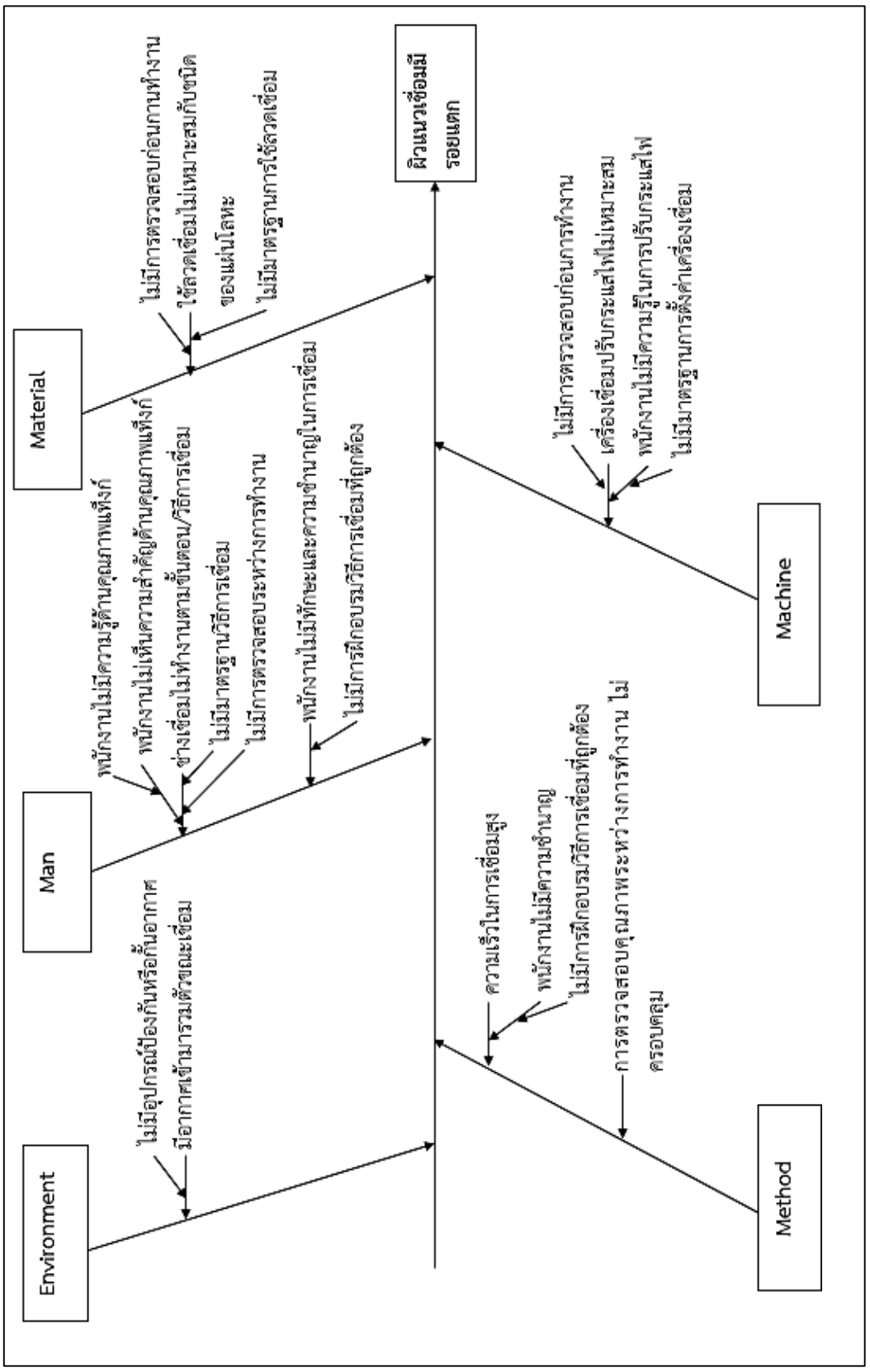
4) สาเหตุหลัก การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีทักษะ/ความชำนาญการเชื่อม มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการเชื่อมที่ถูกต้อง
5) สาเหตุหลัก การตรวจสอบคุณภาพระหว่างการทำงานไม่ครอบคลุม
6) สาเหตุหลัก ระยะอาร์กกว้างเกินไป มีสาเหตุย่อย คือ
   - พนักงานไม่มีทักษะในการเชื่อม มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.6 ข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก

รอยแตกที่ผิวของแนวเชื่อม เกิดจากการหดตัวโดยรวดเร็วของโลหะจากลวดเชื่อมที่หลอมเนื้อโลหะและเติมเข้าไปในแนวเชื่อม ปัญหาของบกพร่องรอยแตกจากขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ของโรงงานกรณีศึกษา คือ เกิดรอยแตกที่ผิวแนวเชื่อมในตำแหน่งจุดเริ่มต้นงานเชื่อมและตำแหน่งจุดสิ้นสุดงานเชื่อม จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตกร่วมกับทีมงานโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 5.6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 5.6 ผังแสดงแหตุและผลของข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก

จากภาพที่ 5.6 สามารถสรุปสาเหตุตามกลุ่มของสาเหตุได้คือ สาเหตุจากความผิดพลาดของคน สาเหตุจากเครื่องจักรกล สาเหตุจากวัตถุดิบ และสาเหตุจากวิธีการทำงาน ดังนี้

<u>สาเหตุจากคน (man)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

1) สาเหตุหลัก พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน/วิธีการเชื่อมที่ถูกต้อง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่เห็นความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์ มีสาเหตุย่อย คือ
     - พนักงานไม่มีความรู้ในด้านคุณภาพของการผลิตแท็งก์
   - ไม่มีมาตรฐานวิธีการทำงานที่ถูกต้อง
   - ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงาน
2) สาเหตุหลัก พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - ไม่มีการฝึกอบรมวิธีการทำงาน

<u>สาเหตุจากเครื่องจักรกล (machine)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก เครื่องเชื่อมปรับกระแสไฟไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีความรู้ในการปรับกระแสไฟ มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีมาตรฐานการตั้งค่ากระแสไฟ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการตั้งค่ากระแสไฟที่ถูกต้อง
   - ไม่มีการตรวจสอบก่อนการทำงาน

<u>สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

4) สาเหตุหลัก ความเร็วในการเชื่อมสูง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีทักษะ/ความชำนาญการเชื่อม มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการเชื่อมที่ถูกต้อง
5) สาเหตุหลัก การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีทักษะ/ความชำนาญการเชื่อม มีสาเหตุย่อย คือ
     - ไม่มีการฝึกอบรมการเชื่อมที่ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาเหตุจากวัสดุอุปกรณ์ (material) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

6) สาเหตุหลัก การเลือกใช้ลวดเติมไม่เหมาะสม

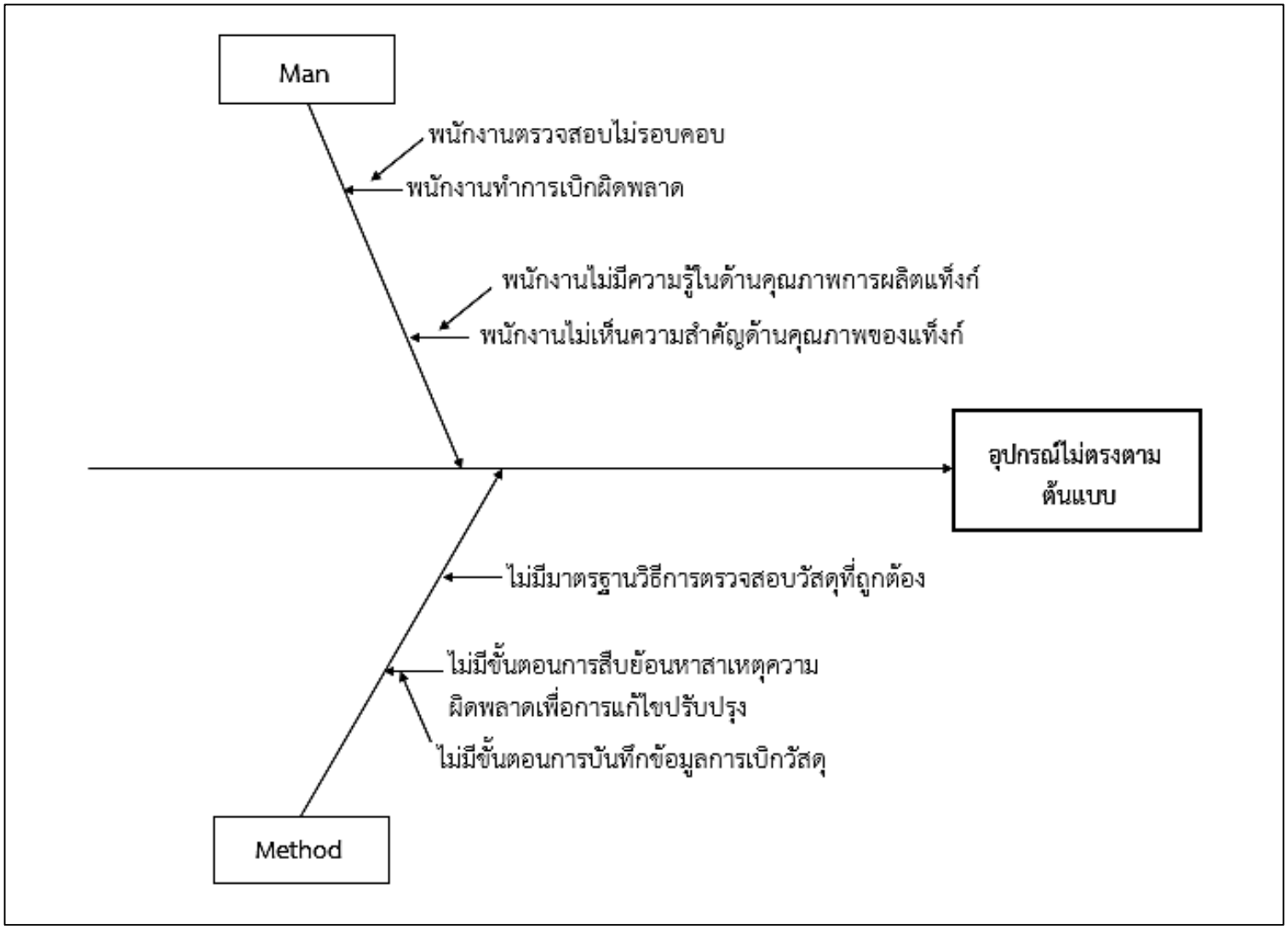
สาเหตุจากสภาพแวดล้อม (environment) ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

7) สาเหตุหลัก ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันหรือกั้นอากาศ

5.2.7 ข้อบกพร่องอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ

จากการศึกษาในมาตรฐานข้อกำหนด TP-II สำหรับอุปกรณ์ใช้งานต่างๆ ของแท็งก์ L4BN จะต้องทำจากวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน ดังนั้น ความผิดพลาดในการติดตั้งอุปกรณ์ ไม่ตรงตามสเปคหรืออุปกรณ์มีคุณสมบัติไม่ตรงตามแบบ จะทำให้แท็งก์ไม่ผ่านการรับรองการใช้งานจากกรมโรงงานฯ โดยข้อบกพร่องการเบิกอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงแบบเกิดขึ้นในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากโรงงานฯ มีการผลิตแท็งก์หลายประเภททำให้มีอุปกรณ์หลายประเภทเช่นกัน ดังนั้นในการเบิกอุปกรณ์ในแต่ละครั้งจึงอาจเกิดความผิดพลาดได้ ทำการระดมสมองกับทีมงานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ทำให้การเบิกอุปกรณ์ในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เกิดความผิดพลาดโดยใช้ผังแสดงเหตุและผลแสดงดังภาพที่ 5.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ 5.7 ผังแสดงเหตุและผลของข้อบกพร่องอุปกรณ์ไม่ตรงตามต้นแบบ

จากภาพที่ 5.7 พบสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องอุปกรณ์ไม่ตรงตามต้นแบบ ซึ่งสามารถแบ่งสาเหตุได้เป็น 2 กลุ่มคือ สาเหตุจากความผิดพลาดจากคน และวิธีการทำงาน ดังนี้

<u>สาเหตุจากคน (man)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

1) สาเหตุหลัก พนักงานทำการเบิกผิดพลาด มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ
2) สาเหตุหลัก พนักงานไม่เห็นความสำคัญด้านคุณภาพของแท็งก์ มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - พนักงานไม่มีความรู้ด้านคุณภาพการผลิตแท็งก์

<u>สาเหตุจากวิธีการทำงาน (method)</u> ประกอบด้วยสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ดังนี้

3) สาเหตุหลัก ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบอุปกรณ์
4) สาเหตุหลัก ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์ก่อนการติดตั้ง มีสาเหตุย่อย ดังนี้
   - ไม่มีขั้นตอนการบันทึกข้อมูลการเบิกอุปกรณ์

จากการวิเคราะห์สาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ แสดงในดังตารางที่ 5.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่อง	ประเภทของสาเหตุ			
			Man	Machine	Measurement	Method
การเตรียมแผ่นโลหะ	ขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ	1. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะที่ถูกต้อง	✓			
		2. ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ				✓
		3. พนักงานไม่มีทักษะและความชำนาญในด้านการเตรียมแผ่นโลหะหรือการบากร่อง	✓			
		4. เครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์ไม่พร้อมใช้งาน		✓		
		5. ตั้งค่าเครื่องเจียระไนไม่ถูกต้อง		✓		
		6. เลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม		✓		
		7. เครื่องมือวัด สมบูรณ์			✓	
		8. การตรวจสอบระหว่างการทำงาน ไม่ครอบคลุม การตรวจสอบไม่ครบถ้วน				✓
	ชนิดแผ่นโลหะ ไม่ตรงตามต้นแบบ	9. พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	✓			
		10. พนักงานไม่ตระหนักด้านคุณภาพของการผลิตแท็งก์	✓			
		11.ไม่มีมาตรฐานวิธีการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ				✓
		12. ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาดในขั้นตอนการเบิกแผ่นโลหะ				✓

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่อง	ประเภทของสาเหตุ			
			Man	Machine	Measurement	Method
การเชื่อมประกอบแท็งก์	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	13. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	✓			
		14. พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	✓			
		15. ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง				✓
		16. ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน				✓
		17. ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม			✓	
		18. การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		19. เครื่องเชื่อมไม่พร้อมใช้งาน		✓		
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	20. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	✓			
		21. พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	✓			
		22. การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่อง	ประเภทของสาเหตุ			
			Man	Machine	Measurement	Method
การเชื่อมประกอบแท็งก์ (ต่อ)	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (ต่อ)	23. ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน				✓
		24. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม				✓
		25. ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป				✓
	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	26. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	✓			
		27. พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	✓			
		28. การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		29. การเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสม				✓
		30. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม				✓
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	31. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	✓			
		32. พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	✓			
		33.การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		34. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูงเกินไป				✓

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่อง	ประเภทของสาเหตุ			
			Man	Machine	Measurement	Method
การติดตั้ง manhole	แนวเชื่อมตำแหน่ง manhole มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	35. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	✓			
		36. พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	✓			
		37. การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		38. ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน				✓
		39. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม				✓
		40. ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป				✓
การติดตั้ง nozzle	แนวเชื่อมตำแหน่ง nozzle มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	41. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	✓			
		42. พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	✓			
		43. การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		44. ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน				✓
		45. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม				✓

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่อง	ประเภทของสาเหตุ			
			Man	Machine	Measurement	Method
การติดตั้ง nozzle (ต่อ)	แนวเชื่อมตำแหน่ง nozzle มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (ต่อ)	46. ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป				✓
		47. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	✓			
		48. พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	✓			
		49. ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง				✓
		50. ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน				✓
		51. ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม			✓	
		52. การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		53. เครื่องเชื่อมไม่พร้อมใช้งาน		✓		
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	54. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	✓			
		55. พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	✓			

ตารางที่ 5.2 สรุปสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุข้อบกพร่อง	ประเภทของสาเหตุ			
			Man	Machine	Measurement	Method
การติดตั้ง nozzle (ต่อ)	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก (ต่อ)	56.การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง		✓		
		57. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูงเกินไป				✓
การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	58. พนักงานเบิกผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	✓			
		59. ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนการติดตั้ง				✓

จากตารางที่ 5.2 การจัดทำแผนคุณภาพสามารถสรุปได้ว่า สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตนั้น เกิดขึ้นจาก 4 ปัจจัยหลัก ได้แก่

1) สาเหตุจากความผิดพลาดของคน (man) เป็นความบกพร่องที่เกิดขากความไม่ชำนาญหรือการขาดความตระหนัก

วิธีการแก้ไขปรับปรุง คือ การฝึกอบรมให้ความรู้ทั้งในเรื่องของวิธีการทำงานที่ถูกต้องและการปลูกผังเรื่องความสำคัญของคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์

2) สาเหตุจากความผิดพลาดของเครื่องจักร (machine) เป็นความบกพร่องที่เกิดจากการสึกหรอ เสื่อมสภาพ เนื่องจากอายุการใช้งานของเครื่องจักร ทำให้เกิดความไม่พร้อมใช้งาน

วิธีการแก้ไขปรับปรุง คือ การซ่อมบำรุงหรือการวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเครื่องจักรและยังช่วยให้สามารถติดตามตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานให้อยู่ในกรอบที่เหมาะสม

3) สาเหตุจากเครื่องมือวัด (measurement) เป็นความบกพร่องที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนหรือความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือวัด

วิธีการแก้ไขปรับปรุง คือ การนำเครื่องมือวัดไปสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานอย่างสม่ำเสมอตามข้อกำหนดที่ระบุไว้สำหรับเครื่องมือวัดแต่ละชนิด

4) สาเหตุจากการทำงาน (method) เป็นความบกพร่องจากวิธีการทำงานในกระบวนการผลิต

วิธีการแก้ไขปรังปรุง คือ การสร้างมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานสำหรับขั้นตอนการทำงานที่มีปัญหา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 การวิเคราะห์ผลกระทบของข้อบกพร่องและประเมินคะแนนค่าความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity, S)

สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความรุนแรง (Severity, S) เป็นเกณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์มาจากเกณฑ์การประเมินลักษณะข้อบกพร่องของกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (AIAG) โดยทำการประชุมร่วมกับทีมงานในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงการพิจารณาระดับคะแนนให้สอดคล้องกับข้อบกพร่องและการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เกณฑ์สำหรับการประเมินคะแนนความรุนแรง (Severity, S) ของลักษณะข้อบกพร่อง

ระดับคะแนน	เกณฑ์พิจารณา	ผลกระทบต่อลูกค้า	ผลกระทบต่อองค์กร
10	ความรุนแรงของข้อบกพร่องทำให้เกิดอันตราย ไม่มีสัญญาณเตือน	คุณภาพแท็งก์ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดกฎหมาย ลูกค้าเกิดความไม่ปลอดภัยในการใช้งานแท็งก์	สูญเสียชื่อเสียงขององค์กร อาจถูกฟ้องร้อง มีผลต่อการดำเนินธุรกิจ
9	ความรุนแรงของข้อบกพร่อง ทำให้เกิดอันตราย มีสัญญาณเตือน		
8	ความรุนแรงของข้อบกพร่องสูงมาก	ลูกค้าไม่พอใจ เนื่องจากแท็งก์หรืออุปกรณ์ใช้งานบนตัวแท็งก์ไม่สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์	ถูกลูกค้าร้องเรียน ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซมข้อบกพร่อง (rework) สูญเสียเวลาและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น
7	ความรุนแรงของข้อบกพร่องมีระดับสูง	ลูกค้าไม่พอใจเนื่องจากแท็งก์และอุปกรณ์ใช้งานบนตัวแท็งก์มีความปลอดภัยจากการใช้งานลดลง แต่ยังสามารถใช้งานได้	ถูกลูกค้าร้องเรียน ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซมข้อบกพร่อง (rework) สูญเสียเวลาและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น
6	ความรุนแรงของข้อบกพร่องมีระดับปานกลาง	ลูกค้าไม่พอใจเนื่องจากอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับด้านการใช้งานไม่สามารถใช้งานได้	ถูกลูกค้าร้องเรียน ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซมข้อบกพร่อง (rework) สูญเสียเวลาและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น
5	ความรุนแรงของข้อบกพร่องระดับต่ำ	ลูกค้าไม่พอใจเนื่องจากระยะเวลาการส่งมอบแท็งก์ไม่ตรงตามกำหนด	เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งเมื่อเกิดข้อบกพร่องทำให้การผลิตหยุดชะงักไม่สามารถดำเนินการผลิตต่อได้ทั้งกระบวนการ องค์กรสูญเสียเวลาในการผลิตและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น

ตารางที่ 5.3 เกณฑ์สำหรับการประเมินคะแนนความรุนแรง (Severity, S) ลักษณะข้อบกพร่อง (ต่อ)

ระดับคะแนน	เกณฑ์พิจารณา	ผลกระทบต่อลูกค้า	ผลกระทบต่อองค์กร
4	ความรุนแรงของข้อบกพร่องระดับต่ำมาก	ลูกค้าไม่พอใจเนื่องจากระยะเวลาการส่งมอบแท็งก์ไม่ตรงตามกำหนด	เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้น ทำให้การผลิตในขั้นตอนนั้นๆ หยุดชะงักไม่สามารถดำเนินการผลิตต่อได้แต่ขั้นตอนอื่นยังสามารถดำเนินการได้ องค์กรสูญเสียเวลาในการผลิตและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น
3	ความรุนแรงของข้อบกพร่องระดับน้อย	ไม่มีผลกระทบต่อลูกค้า	เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้น การผลิตในขั้นตอนนั้นยังสามารถดำเนินการผลิตต่อได้ องค์กรสูญเสียเวลาในการผลิตและต้นทุนการผลิต
2	ความรุนแรงของข้อบกพร่องระดับน้อยมาก	ไม่มีผลกระทบต่อลูกค้า	เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้น การผลิตในขั้นตอนนั้นยังสามารถดำเนินการผลิตต่อได้ ไม่สูญเสียเวลาและต้นทุนการผลิต
1	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบต่อลูกค้า	ไม่มีผลกระทบต่อองค์กรและกระบวนการผลิต

ทำการวิเคราะห์ FMEA ร่วมกับทีมงาน โดยใช้เกณฑ์การประเมินจากตารางที่ 5.3

5.3.1 ผลกระทบจากข้อบกพร่องขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ

ลักษณะข้อบกพร่องขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ เป็นข้อบกพร่องที่เกิดในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ ขนาดของการบากร่องขึ้นอยู่กับการออกแบบรอยต่อในต้นแบบ การบากร่องที่มีขนาดไม่เป็นไปตามต้นแบบจะส่งผลกระทบต่อขั้นตอนถัดไป คือ ขั้นตอนการเชื่อมโลหะ โดยข้อบกพร่องประเภทนี้จะเป็นสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมไม่ได้คุณภาพ มีผลต่อความมั่นคงแข็งแรง และอายุการใช้งานของแท็งก์ จากเกณฑ์การประเมิน พบว่า ความรุนแรงของข้อบกพร่องขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ อยู่ในเกณฑ์ความรุนแรงระดับต่ำ คะแนนเท่ากับ 5 คือ เมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้นในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ จะส่งผลให้ขั้นตอนถัดไป คือขั้นตอนการขึ้นรูปหยุดชะงัก เนื่องจากต้องรอการดำเนินการแก้ไขในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะก่อน ซึ่งจะให้กระบวนการผลิตใช้เวลาในการผลิตแท็งก์เพิ่มขึ้น อาจส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พอใจหากไม่สามารถส่งมอบแท็งก์ได้ตามกำหนด

5.3.2 ผลกระทบจากข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ

ผลกระทบของการใช้ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ เมื่อเกิดข้อบกพร่องและสามารถตรวจพบจะทำให้สูญเสียเวลาในกระบวนการผลิตขั้นตอนการขึ้นรูปซึ่งเป็นขั้นตอนถัดไปไม่สามารถดำเนินการผลิตได้ เนื่องจากต้องรอให้มีการนำแผ่นโลหะชนิดที่ถูกต้องมาทำการเตรียมแผ่นโลหะใหม่ นอกจากนี้ หากเกิดข้อบกพร่องและไม่สามารถตรวจพบในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ แต่มีการตรวจพบในขั้นตอนสุดท้ายภายหลังการผลิตเป็นตัวแท็งก์เรียบร้อยแล้ว จะทำให้โรงงานฯ ต้องเริ่มต้นดำเนินการผลิตใหม่ เนื่องจาก แท็งก์ที่ใช้ชนิดแผ่นโลหะมาผลิตไม่ตรงตามต้นแบบ คือแท็งก์ที่มีลักษณะที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แท็งก์จะไม่ผ่านการรับรองการใช้งานแท็งก์จากกรมโรงงานฯ เมื่อทำการให้คะแนนจากเกณฑ์การประเมินในตารางที่ 5.3 พบว่าลักษณะข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ มีความรุนแรงอยู่ในระดับ 9 คือ เป็นผลกระทบที่มีความรุนแรงสูง เนื่องจากแท็งก์มีคุณสมบัติไม่ตรงตามต้นแบบและไม่เป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย แต่เมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้นสามารถตรวจพบได้

5.3.3 ผลกระทบจากข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ

ผลกระทบจากข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตที่มีการเชื่อมโลหะ คือ ขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์และขั้นตอนการติดตั้งฝาหัวและฝาท้าย

ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ เมื่อเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวขึ้นไม่สามารถตรวจสอบได้ในขั้นตอนการผลิต จะตรวจสอบพบในขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย โดยหน่วยงานตรวจสอบ เมื่อทำการให้คะแนนร่วมกับทีมงาน โดยใช้เกณฑ์การประเมินในตารางที่ 5.3 พบว่าลักษณะข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ มีความรุนแรงอยู่ในระดับ 9 คือ เป็นผลกระทบที่มีความรุนแรงสูงเนื่องจากแท็งก์มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามข้อกำหนดคือไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลาย และทางโรงงานฯ จะต้องทำการซ่อมแซมแก้ไขแท็งก์ให้มีคุณภาพซึ่งต้องสูญเสียระยะเวลาและค่าใช้จ่าย

5.3.4 ผลกระทบจากข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม

ผลกระทบจากข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้าหรือแนวเชื่อมไม่เต็ม เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่มีการเชื่อมโลหะ คือ ขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ การติดตั้ง Nozzle และ Manhole เมื่อเกิดข้อบกพร่องดังกล่าวขึ้นจะสามารถตรวจพบลักษณะข้อบกพร่องได้ด้วยการสุ่มตรวจโดยพนักงานควบคุมคุณภาพของโรงงาน มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของรอยต่อ เมื่อทำการวิเคราะห์ร่วมกันกับทีมงานและการประเมินคะแนนจากตารางที่ 5.3 ผลคือลักษณะข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้าหรือแนวเชื่อมไม่เต็ม มีความรุนแรงอยู่ในระดับที่ 3 คือ ไม่มีผลที่เป็นสาเหตุให้ลูกค้าร้องเรียน แต่ในขั้นตอนการผลิตหากพนักงานควบคุมคุณภาพตรวจพบข้อบกพร่อง จะต้องทำการซ่อมแซมแก้ไขแนวเชื่อม ซึ่งจะส่งผลให้สูญเสียเวลาการผลิตและต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

5.3.5 ผลกระทบจากข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด

ผลกระทบจากข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่มีการเชื่อมโลหะ คือขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ ข้อบกพร่องนี้พนักงานควบคุมคุณภาพภายในโรงงานฯ เป็นผู้ทำการตรวจสอบด้วยวิธีการสุ่มตรวจ หากเกิดข้อบกพร่องขึ้นเกินกว่าค่าการยอมรับในข้อกำหนดจะทำให้แนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตา ต้องทำการแก้ไขปรับปรุงแนวเชื่อมจนกว่าจะผ่านเกณฑ์ในข้อกำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ร่วมกับทีมงานแล้วทำการการประเมินคะแนนจากตารางที่ 5.3 ผลคือลักษณะข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด มีความรุนแรงอยู่ในระดับที่ 3 ไม่มีผลที่เป็นสาเหตุทำให้ลูกค้าร้องเรียน แต่เมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้นจะต้องทำการซ่อมแซมแก้ไขแนวเชื่อม ซึ่งจะส่งผลให้สูญเสียเวลาในการผลิตและต้นทุนค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

5.3.6 ผลกระทบจากข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก

ผลกระทบจากข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ ได้แก่ ขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ ขั้นตอนการเชื่อมติดตั้ง Nozzle และ Manhole ในมาตรฐานข้อกำหนดนั้นไม่อนุญาตให้มีข้อบกพร่องรอยแตกบนผิวของแนวเชื่อมเกิดขึ้น เนื่องจากเป็นข้อบกพร่องที่มีผลต่อความแข็งแรงของรอยต่อของแผ่นโลหะ ซึ่งเมื่อเกิดข้อบกพร่องจะส่งผลให้รอบๆ แนวเชื่อมนั้นมีความแข็งแรงลดลงด้วย การตรวจพบข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก จะตรวจสอบโดยพนักงานควบคุมคุณภาพของโรงงานฯ ทำการสุ่มตรวจ กรณีที่พบข้อบกพร่องจะดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมแนวเชื่อมในตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่อง เมื่อทำการวิเคราะห์ร่วมกับทีมงานแล้วทำการให้คะนนโดยใช้เกณฑ์การประเมินจากตารางที่ 5.3 ผลคือลักษณะข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก มีความรุนแรงอยู่ในระดับที่ 9 คือ เป็นผลกระทบที่มีความรุนแรงสูงเนื่องจากแท็งก์มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และทางโรงงานฯ จะต้องทำการซ่อมแซมแก้ไขแท็งก์ให้มีคุณภาพซึ่งต้องสูญเสียระยะเวลาและค่าใช้จ่าย

5.3.7 ผลกระทบจากข้อบกพร่องอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ

ผลกระทบของการใช้อุปกรณ์ต่างๆ บนตัวแท็งก์ไม่ตรงตามต้นแบบ มีผลกระทบเหมือนกันกับข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ ดังนั้น เมื่อทำการประชุมร่วมกับทีมงานและการประเมินคะแนนจากตารางที่ 5.3 พบว่าลักษณะข้อบกพร่องอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ มีความรุนแรงอยู่ในระดับ 9 คือ เป็นผลกระทบที่มีความรุนแรงสูงเนื่องจากแท็งก์มีคุณสมบัติไม่ตรงตามต้นแบบและไม่เป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย แต่เมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้นสามารถตรวจพบได้

สามารถสรุปการประเมินคะแนนความรุนแรง (Severity, S) ของลักษณะข้อบกพร่องได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 สรุปการประเมินลักษณะข้อบกพร่องหลักต่างๆ

ขั้นตอน	ข้อบกพร่อง	ผลกระทบ	ระดับคะแนน
การเตรียมแผ่นโลหะ	ขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ	- แนวเชื่อมจะเกิดข้อบกพร่อง - สูญเสียเวลาในการซ่อมแซมแก้ไข	5
การเตรียมแผ่นโลหะ	ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	- คุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้นแบบ ไม่ผ่านการรับรองการใช้งานจากกรมโรงงานฯ - เริ่มกระบวนการผลิตใหม่ สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่าย	9
- การเชื่อมประกอบแท็งก์ - การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	- ไม่เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดการผลิตแท็งก์ ไม่ผ่านการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย - สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข	9
- การเชื่อมประกอบแท็งก์ - การติดตั้ง manhole - การติดตั้ง nozzle	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	- มีผลต่อความแข็งแรงและความสวยงามของแนวเชื่อมแท็งก์ - สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข	3
การเชื่อมประกอบแท็งก์	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	- ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดการผลิตแท็งก์ - สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข	3
- การเชื่อมประกอบแท็งก์ - การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	- ความแข็งแรงของโลหะรอบๆ แนวเชื่อมมีความแข็งแรงลดลง มีโอกาสแตกร้าวได้ง่ายขึ้น - ไม่เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนด - สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข	9
การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	อุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	- คุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้นแบบ ไม่ผ่านการรับรองการใช้งานจากกรมโรงงานฯ - ต้องทำการปรับเปลี่ยนแก้ไขอุปกรณ์ให้ถูกต้อง สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่าย	9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.4 การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องและประเมินคะแนนโอกาสในการเกิดสาเหตุ ของข้อบกพร่อง (Occurrence, O)

ทำการระดมสมองกับทีมงานเพื่อวิเคราะห์โอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง (Occurrence, O) และทำการประเมินคะแนนจากการประยุกต์จากเกณฑ์การประเมินลักษณะข้อบกพร่องของกลุ่มอุตสาหกรรมยายนตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (AIAG) โดยทำการประชุมร่วมกับทีมงานในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงการพิจารณาระดับคะแนนให้สอดคล้องกับข้อบกพร่องและการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา แสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เกณฑ์การประเมินโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง (Occurrence, O)

ระดับคะแนน	เกณฑ์พิจารณา โอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง	ความถี่ในการเกิด
10	ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดข้อบกพร่องได้	เกิดอย่างสม่ำเสมอ
9	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องสูงมาก	สูงมาก
8	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องสูง	สูง
7	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องพอสมควร	พอสมควร
6	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องปานกลาง เกิดขึ้นในบางโอกาส	ปานกลาง
5	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องปานกลาง เกิดขึ้นในบางโอกาส	ปานกลาง
4	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องน้อย	น้อย
3	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องน้อยเป็นครั้งคราว	น้อย
2	โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องน้อยมาก	น้อยมาก
1	ไม่ค่อยมีแนวโน้ม หรือโอกาสในการเกิด	สามารถละเลยสาเหตุนี้ได้

เนื่องจาก เดิมวิธีการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ของโรงงานฯ ไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลที่สมบูรณ์ อีกทั้งในหลายๆ ขั้นตอนของกระบวนการผลิตยังไม่มีการจัดเก็บข้อมูลข้อบกพร่องเนื่องจากไม่มีแบบฟอร์มการตรวจสอบการทำงาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการจัดทำแบบฟอร์มการตรวจสอบการทำงาน สำหรับแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์ของโรงงานฯ โดยแต่ละแบบฟอร์มได้ผ่านการพิจารณาแก้ไขและเห็นชอบจากคณะทีมงานของโรงงานฯ เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยผลการตรวจสอบการทำงานก่อนการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต ผลจากการตรวจสอบ

ดังกล่าว มาใช้ประกอบการให้คะแนนโอกาสในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง โดยทำการวิเคราะห์แต่ละสาเหตุดังนี้

5.4.1 ข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะ

สำหรับสาเหตุข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะจากการที่พนักงานไม่ปฏิบัติตามวิธีการทำงานที่ถูกต้อง หรือการทำงานข้ามขั้นตอน เนื่องจากการเร่งทำงานให้เสร็จทันระยะเวลาที่วางแผนไว้ มีโอกาสในการเกิดสาเหตุข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 7 คือเป็นสาเหตุที่มีโอกาสก่อให้เกิดข้อบกพร่องพอสมควร เนื่องจากการบากร่องต้องอาศัยการทำงานที่ประณีตและต้องปฏิบัติตามขั้นตอนที่ถูกต้อง สำหรับสาเหตุจากการที่โรงงานฯ ไม่มีการฝึกอบรมพนักงานในด้านการบากร่องหรือการเตรียมโลหะจึงทำให้เกิดข้อบกพร่องนั้น ทีมงานร่วมกันลงความเห็นว่าโอกาสของสาเหตุนี้ที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่องนั้นมีคะแนน 7 เท่ากับสาเหตุที่พนักงานไม่ทำงานตามวิธีการที่ถูกต้อง เพราะทั้ง 2 สาเหตุเกิดจากปัญหาเดียวกันคือพนักงาน สำหรับสาเหตุเครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์และสาเหตุการเลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับ 3 คือน้อย เนื่องจากความพร้อมในการใช้งานเครื่องเจียระไนนั้น จะมีพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงทำการตรวจเช็คสภาพความพร้อมอยู่เป็นประจำทำให้โอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องจึงมีระดับต่ำ ในส่วนของสาเหตุจากเครื่องมือวัดระยะไม่สมบูรณ์สำหรับการนำมาใช้งาน มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับ 2 คือมีโอกาสเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุนี้น้อย เนื่องจากทางโรงงานฯ มีการจ้างหน่วยงานอิสระเข้ามาทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด (calibration) อย่างสม่ำเสมอตามข้อกำหนด และสุดท้ายสาเหตุจากการตรวจสอบการทำงานจากหัวหน้างานไม่ครอบคลุม มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับ 6 คือมีโอกาสเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุนี้ในระดับปานกลาง เนื่องจาก สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องส่วนใหญ่นั้นเกิดจากความผิดพลาดของพนักงาน ดังนั้น การตรวจสอบจากหัวหน้างานหรือพนักงาน QC ที่ไม่ครอบคลุมหรือทั่วถึง จะทำให้ไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงานได้ จากการวิเคราะห์โอกาสในการเกิดสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ สามารถสรุปการประเมินโอกาสได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องการบากร่องไม่ได้ระยะ

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
การบากร่องไม่ได้ระยะ	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะที่ถูกต้อง	7
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	7
	เครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์ไม่พร้อมใช้งาน	3
	ตั้งค่าเครื่องเจียระไนไม่ถูกต้อง	3
	เลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม	3
	เครื่องมือวัดไม่สมบูรณ์	2
	การตรวจสอบระหว่างการทำงาน ไม่ครอบคลุม การตรวจสอบไม่ครบถ้วน	6

5.4.2 ข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ

จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุแรกคือ การตรวจสอบผิดพลาดหรือไม่รอบคอบของพนักงาน มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือ อยู่ในระดับปานกลาง เนื่องจากในโรงงานฯ มีการดำเนินการผลิตแท็งก์หลายประเภททำให้มีโลหะหลายชนิดที่อยู่ในแผนกวัสดุคงคลัง ความสับสนของพนักงานเบิกจึงเป็นสาเหตุหนึ่งของข้อบกพร่องนี้ สำหรับสาเหตุพนักงานไม่ตระหนักในด้านคุณภาพแท็งก์จึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานหรือที่เรียกว่าความเผลอเลอมีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 ในส่วนของสาเหตุที่ขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะและไม่มีการบันทึกข้อมูลความผิดพลาด สำหรับขั้นตอนก่อนเริ่มดำเนินการเตรียมแผ่นโลหะ มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 7 คือเป็นสาเหตุที่มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องพอสมควร เนื่องจากทางทีมงานมีความเห็นตรงกันว่าเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นอย่างบ่อยครั้ง โดยที่ทางโรงงานฯ ไม่มีการทำบันทึกเพื่อเก็บข้อมูล และไม่มีการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงปัญหานี้ สามารถสรุปการประเมินโอกาสได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	5
	พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	5
	ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	7
	ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาด	7

5.4.3 ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ

สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพสาเหตุแรกคือ พนักงานไม่ทำการเชื่อมตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้องหรือทำงานข้ามขั้นตอน มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 2 คือโอกาสน้อย เนื่องจากการเชื่อมโลหะในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์นั้นจะข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification, WPS) กำกับอยู่ เพราะในข้อกำหนด TP-II ได้มีการระบุไว้ว่าทุกการผลิตแท็งก์จะต้องมี WPS สำหรับสาเหตุที่พนักงานไม่มีความชำนาญและทักษะในการเชื่อม มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือระดับปานกลาง เนื่องจากโรงงานฯ ไม่มีการกำหนดวัดระดับทักษะการทำงานและความรู้ของพนักงานในแผนกเชื่อมโลหะ ทำให้ไม่สามารถทราบถึงทักษะความสามารถในการทำงานที่แท้จริงของพนักงานได้ สาเหตุไม่มีมาตรฐานขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 1 คือมีโอกาสจากสาเหตุนี้น้อยมาก เนื่องจากตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าในข้อกำหนด TP-II ได้ระบุไว้ว่าทุกการผลิตแท็งก์ต้องมี WPS และทางโรงงานฯ จึงจัดทำไว้ในทุกการผลิตแท็งก์ แต่สำหรับสาเหตุไม่มีการฝึกอบรมพนักงานเชื่อมเกี่ยวกับวิธีการเชื่อมที่ถูกต้องตามมาตรฐานวิธีการทำงาน มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 7 คือมีโอกาสพอสมควร เพราะเดิมทางโรงงานฯ ไม่ได้เน้นการฝึกอบรมพนักงานมากนัก ทั้งพนักงานเดิมและพนักงานที่เพิ่งรับเข้าใหม่ จึงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานแต่ละคนอาจยังไม่ดีเพียงพออีกทั้งอาจทำให้เกิดความไม่เข้าใจในวิธีการทำงานใน WPS ได้ ในส่วนของสาเหตุการตรวจสอบการทำงานจากหัวหน้างานที่ไม่ครอบคลุมทั่วถึงนั้น มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 6 คือมีโอกาสเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุนี้ในระดับปานกลาง เนื่องจาก สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องส่วนใหญ่นั้นเกิดจากความผิดพลาดจากการทำงานของพนักงาน ดังนั้น การตรวจสอบจากหัวหน้างานหรือพนักงาน QC ที่ไม่ครอบคลุมจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงานได้ โอกาสในการเกิดข้อบกพร่องจึงสูง ในส่วนของสาเหตุจาก

การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 4 คือมีโอกาสเกิดข้อบกพร่องแต่อยู่ในระดับที่น้อย เนื่องจากโรงงานฯ มีการผลิตแท็งก์หลายประเภท จึงมีความหลากหลายของชนิดโลหะและการตั้งค่าเครื่องเชื่อม ดังนั้นการตั้งค่าเครื่องผิดจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องได้ สามารถสรุปการประเมินโอกาสได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5
	ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	1
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	7
	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6
	ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	6
	การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4

5.4.4 ข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม

สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องแนวเชื่อมมีรอยเว้า ได้แก่ การที่พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการทำการเชื่อมที่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 2 คือโอกาสน้อย สาเหตุพนักงานไม่มีทักษะและความชำนาญ โอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือระดับปานกลาง โดยเหตุผลเช่นเดียวกันกับที่ได้ทำการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.4.3 ส่วนสาเหตุการตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 4 คือ มีโอกาสน้อย

สาเหตุไม่มีการตรวจสอบการทำงานจากหัวหน้างานที่ไม่ครอบคลุมทั่วถึงนั้น มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 6 คือมีโอกาสเกิดข้อบกพร่องจากสาเหตุนี้ในระดับปานกลาง เนื่องจาก สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องส่วนใหญ่นั้นเกิดจากความผิดพลาดของพนักงาน ดังนั้น การตรวจสอบจากหัวหน้างานหรือพนักงาน QC ที่ไม่ครอบคลุมจะทำให้ไม่สามารถตรวจจับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการทำงานได้ และสาเหตุจากการเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสมและระยะอาร์กกว้างเกินไปนั้น มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 โดยเป็นระดับเดียวกับสาเหตุจากการไม่มีทักษะและความชำนาญของพนักงานเชื่อม สามารถสรุปการประเมินโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5
	ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป	5

5.4.5 ข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด

สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาดสาเหตุแรก ได้แก่สาเหตุจากพนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 2 คือโอกาสน้อย สาเหตุพนักงานไม่มีทักษะและความชำนาญ โอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือระดับปานกลาง โดยเหตุผลเช่นเดียวกันกับที่ได้ทำการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.4.3 ส่วนสาเหตุการตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 4 คือมีโอกาสน้อย สำหรับสาเหตุการเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสมและสาเหตุการเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับทักษะของพนักงาน ดังนั้น โอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือระดับปานกลาง สามารถสรุปการประเมินโอกาสได้ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาด

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
	การเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	5
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5

5.4.6 ข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก

สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตกสาเหตุแรก ได้แก่สาเหตุจากพนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 2 คือโอกาสน้อย สาเหตุพนักงานไม่มีทักษะและความชำนาญ โอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือระดับปานกลาง โดยเหตุผลเช่นเดียวกันกับที่ได้ทำการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.4.3 ส่วนสาเหตุการตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 4 คือมีโอกาสน้อย สำหรับสาเหตุการเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูงเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับทักษะและความชำนาญของพนักงาน ดังนั้น โอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คือระดับปานกลาง สามารถสรุปการประเมินโอกาส

ตารางที่ 5.11 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องแนวเชื่อมมีรอยแตก

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
แนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	5

5.4.7 ข้อบกพร่องเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ

จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุแรกคือ การตรวจสอบผิดพลาดหรือไม่รอบคอบของพนักงาน มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 5 คืออยู่ในระดับปานกลาง ในส่วนของสาเหตุไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการเชื่อมติดตั้ง มีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่ระดับคะแนน 7 คือเป็นสาเหตุที่มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่องพอสมควร

เนื่องจากทางทีมงานมีความเห็นตรงกันว่าเป็นสาเหตุที่เกิดขึ้นอย่างบ่อยครั้ง โดยที่ทางโรงงานฯ ไม่มีตรวจสอบก่อนอีกทั้งยังไม่มีการทำบันทึกเพื่อเก็บข้อมูล และไม่มีการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงปัญหานี้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุของข้อบกพร่องเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานเบิกผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	5
	ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนการติดตั้ง	7

จากการวิเคราะห์และประเมินคะแนนของโอกาสการเกิดข้อบกพร่องทั้งหมด สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องทุกข้อบกพร่องที่เกิดในขั้นตอนการผลิตแท็งก์

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
1. การบากร่องไม่ได้ระยะ	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะที่ถูกต้อง	7
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	7
	เครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์ไม่พร้อมใช้งาน	3
	ตั้งค่าเครื่องเจียระไนไม่ถูกต้อง	3
	เลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม	3
	เครื่องมือวัด สมบูรณ์	2
	การตรวจสอบระหว่างการทำงาน ไม่ครอบคลุม การตรวจสอบไม่ครบถ้วน	6
2. ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	5
	พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	5
	ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	7
	ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาด	7

ตารางที่ 5.13 สรุปการประเมินโอกาสของสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องทุกข้อบกพร่องที่เกิดในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	ระดับคะแนน
3. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5
	ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	1
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	7
	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6
	ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	6
	การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
4. ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5
	ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป	5
5.แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
	การเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	5
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5
6.แนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2
	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	5
7.เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	5
	ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนการติดตั้ง	7

5.5 การวิเคราะห์และประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection, D)

สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection, D) เป็นเกณฑ์ที่ได้จากการประยุกต์มาจากเกณฑ์การประเมินลักษณะข้อบกพร่องของกลุ่มอุตสาหกรรมยายนตร์แห่งสหรัฐอเมริกา (AIAG) โดยทำการประชุมร่วมกับทีมงานในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงการพิจารณาระดับคะแนนให้สอดคล้องกับข้อบกพร่องและการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา แสดงดังตารางที่ 5.14 สำหรับประเภทของการตรวจสอบ ตัว A หมายถึง โรงงานฯ มีอุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาดสำหรับการตรวจจับความผิดพลาดที่จะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่อง B หมายถึง การมีเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบความผิดพลาดอันเป็นสาเหตุให้เกิดข้อบกพร่อง และ C หมายถึง มีการตรวจสอบความผิดพลาดโดยผู้ปฏิบัติงาน

ตารางที่ 5.14 เกณฑ์คะแนนสำหรับการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection, D)

ระดับคะแนน	เกณฑ์พิจารณาการตรวจจับหรือป้องกัน	ประเภทของการตรวจสอบ			ความสามารถในการตรวจจับ (D)
		A	B	C	
10	ไม่สามารถตรวจจับหรือป้องกันการเกิดข้อบกพร่องนั้นได้			✓	ไม่สามารถตรวจจับได้
9	เป็นไปได้ยากที่จะตรวจจับหรือป้องกันการเกิดข้อบกพร่องได้ ในขั้นตอนการผลิตมีเพียงการตรวจสอบทางอ้อม หรือมีเพียงการสุ่มตรวจ			✓	เป็นไปได้ยากมากที่จะตรวจจับ
8	เป็นไปได้ยากที่จะตรวจจับหรือป้องกันการเกิดข้อบกพร่องได้ ในขั้นตอนการผลิตมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตาเท่านั้น			✓	เป็นไปได้ยากที่จะตรวจจับ
7	เป็นไปได้ยากที่จะตรวจจับหรือป้องกันการเกิดข้อบกพร่อง ในขั้นตอนการผลิตมีเพียงการตรวจสอบด้วยสายตาซ้ำ 2 ครั้ง			✓	สามารถตรวจจับได้น้อยมาก
6	มีโอกาสตรวจจับข้อบกพร่องได้ต่ำ มีการควบคุมคุณภาพ		✓	✓	สามารถตรวจจับได้น้อย

ตารางที่ 5.14 เกณฑ์คะแนนสำหรับการประเมินความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง (Detection, D) (ต่อ)

ระดับคะแนน	เกณฑ์พิจารณาการตรวจจับและป้องกัน	ประเภทของการตรวจสอบ			ความสามารถในการตรวจสอบ (D)
		A	B	C	
5	มีโอกาสตรวจจับและป้องกันการเกิดข้อบกพร่องได้ มีการใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ในการตรวจจับหาข้อบกพร่อง		✓		สามารถตรวจจับได้พอสมควร
4	มีโอกาสตรวจจับข้อบกพร่องได้สูง มีการใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ในการตรวจจับหาข้อบกพร่อง	✓	✓		สามารถตรวจจับได้สูงพอสมควร
3	มีโอกาสตรวจจับข้อบกพร่องได้ ณ จุดปฏิบัติงานในขั้นตอนการผลิต	✓	✓		สามารถตรวจจับได้สูง
2	มีโอกาสตรวจจับข้อบกพร่องได้แน่นอน ณ จุดปฏิบัติงานในขั้นตอนการผลิต โดยมีการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การวัดร่วมกับอุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด	✓	✓		สามารถตรวจจับได้สูงมาก
1	สามารถควบคุมสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องได้อย่างแน่นอน ไม่สามารถเกิดความบกพร่องได้ในขั้นตอนการผลิต	✓			สามารถตรวจจับได้สูงมาก

ทำการประชุมร่วมกับทีมงานแล้วได้ผลสรุปจากการประชุมว่า จะให้ทีมงานแต่ละคนประเมินคะแนน D จากนั้นนำคะแนนของทุกคนมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อการประเมินผลตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง RPN ต่อไป สำหรับผลสรุปค่าเฉลี่ยการประเมินค่า D แสดงผลดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 สรุปการประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับสาเหตุของข้อบกพร่อง

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	มาตรการการตรวจจับ (D)	ระดับคะแนน
1. การบากร่องไม่ได้ระยะ	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะที่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8
	เครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์ไม่พร้อมใช้งาน	มีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอโดยฝ่ายซ่อมบำรุง	1
	ตั้งค่าเครื่องเจียระไนไม่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	เลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	เครื่องมือวัด ไม่สมบูรณ์	มีการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ	1
	การตรวจสอบระหว่างการทำงาน ไม่ครอบคลุม การตรวจสอบไม่ครบถ้วน	ยังไม่มีการแก้ไข	8
2. ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	ยังไม่มีการแก้ไข	8
	ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	ยังไม่มีการแก้ไข	8
	ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาด	ยังไม่มีการแก้ไข	8
3. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8

ตารางที่ 5.15 สรุปการประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับสาเหตุของข้อบกพร่อง (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	มาตรการการตรวจจับ (D)	ระดับคะแนน
3. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ (ต่อ)	ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	ยังไม่มีการแก้ไข	10
	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8
	ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
4. ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
5.แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8

ตารางที่ 5.15 สรุปการประเมินคะแนนความสามารถในการตรวจจับสาเหตุของข้อบกพร่อง (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	มาตรการการตรวจจับ (D)	ระดับคะแนน
5.แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด (ต่อ)	การเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
6.แนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8
	การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8
7.เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	ยังไม่มีการแก้ไข	10
	ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนการติดตั้ง	ยังไม่มีการแก้ไข	10

5.6 การประเมินผลตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN)

จากการวิเคราะห์ในหัวข้อ 5.3 ถึง 5.5 และทำการคำนวณผลตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (RPN) โดยใช้สมการ

$$RPN = S \times O \times D$$

เมื่อคำนวณ RPN ของแต่ละข้อบกพร่องแสดงดังตารางที่ 5.16 สำหรับค่า RPN ที่ยอมรับได้ทางผู้วิจัยและคณะทีมงานทำการประชุมเพื่อกำหนดค่าระดับความรุนแรง ระดับโอกาสการเกิดสาเกตุของข้อบกพร่อง และความสามารถในการตรวจจับ พบค่าที่สามารถยอมรับได้ คือ ค่าระดับความรุนแรง (Severity, S) ไม่สามารถยอมรับได้ในค่าตั้งแต่ระดับ 6 ขึ้นไป เพราะที่ความรุนแรงระดับ 6 เป็นความรุนแรงของข้อบกพร่องระดับปานกลาง โดยอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานไม่สามารถใช้งานได้อาจส่งผลต่อความปลอดภัยในการใช้งานของลูกค้าและอาจถูกลูกค้าร้องเรียนได้ และเป็น

ข้อบกพร่องที่ทางโรงงานฯ ต้องทำการแก้ไขซ่อมแซมข้อบกพร่อง (rework) สูญเสียเวลาและต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ในส่วนของค่าโอกาสการเกิด (Occurrence, O) ไม่สามารถยอมรับตั้งแต่ระดับ 7 ขึ้นไปเป็นโอกาสในการเกิดสัดส่วนของข้อบกพร่องระดับปานกลางที่ค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องที่ทางโรงงานฯ ตกลงยอมรับได้ และค่าความสามารถในการตรวจจับ (Detection, D) ไม่สามารถยอมรับได้ที่ระดับ 7 ขึ้นไปซึ่งเป็นระดับที่สามารถตรวจจับและป้องกันการเกิดข้อบกพร่องได้น้อยมาก ซึ่งเป็นเพียงแค่การตรวจสอบด้วยสายตาโดยผู้ปฏิบัติงานเท่านั้น ดังนั้น เมื่อคำนวณเป็นค่า RPN ได้ค่าที่ยอมรับได้คือ S x O x D = 6 x 7 x 7= 294 จึงสามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องที่มีค่า RPN เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ เพื่อกำหนดแนวทางดำเนินการแก้ไข ได้ดังตารางที่ 5.16 และแสดงการวิเคราะห์ค่า RPN ของสาเหตุทั้งหมดดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.16 สรุปสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องและค่า RPN ของแต่ละสาเหตุ

ขั้นตอน	ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิด	ค่า RPN
1. การเตรียมแผ่นโลหะ	ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	360
		พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	360
		ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	504
		ไม่มีการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อผิดพลาดไปแก้ไขปรับปรุง	504
2. การเชื่อมประกอบแท็งก์	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	360
		ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	630
		ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	432
		ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	432
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	360
		การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	360

ตารางที่ 5.16 สรุปสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องและค่า RPN ของแต่ละสาเหตุ (ต่อ)

ขั้นตอน	ข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิด	ค่า RPN
3. การติดตั้ง ฝาหัว-ฝาท้าย	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	360
		ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	630
		ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	432
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	360
		การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	360
4. การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	450
		ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนการติดตั้ง	630

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การเตรียมแผ่นโลหะ	ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	คุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้นแบบ	9	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	360
		ไม่ผ่านการรับรองการใช้งานจากกรมโรงงานฯ		พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	5	ยังไม่มีการแก้ไข	8	360
		เริ่มกระบวนการผลิตใหม่สูญเสียเวลาและต้นทุน		ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	7	ยังไม่มีการแก้ไข	8	504
				ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาด	7	ยังไม่มีการแก้ไข	8	504
	การบากร่องไม่ได้ระยะ	แนวเชื่อมจะเกิดข้อบกพร่อง	5	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะที่ถูกต้อง	7	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	280
		สูญเสียเวลาในการซ่อมแซมแก้ไข		ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	7	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	280
				เครื่องเจียระไนไม่สมบูรณ์ไม่พร้อมใช้งาน	3	มีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอโดยฝ่ายซ่อมบำรุง	1	15
				ตั้งค่าเครื่องเจียระไนไม่ถูกต้อง	3	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				เลือกใช้ล้อเจียรไม่เหมาะสม	3	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				เครื่องมือวัด ไม่สมบูรณ์	2	มีการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ	1	10
				การตรวจสอบระหว่างการทำงาน ไม่ครอบคลุม การตรวจสอบไม่ครบถ้วน	6	ยังไม่มีการแก้ไข	8	240

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การเชื่อมประกอบแท็งก์	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	ไม่เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดการผลิตแท็งก์ ไม่ผ่านการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข มีผลต่อความแข็งแรงและความสวยงามของแนวเชื่อมแท็งก์	9	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	144
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	360
				ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	1	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	72
				ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	7	ยังไม่มีการแก้ไข	10	630
				ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	432
				ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	6	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	432
				การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	288
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม		3	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	48
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	96
				ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	144

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การเชื่อมประกอบแท็งก์	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (ต่อ)		3	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด		3	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	48
				พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	120
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	96
				การเติมลวดเชื่อมไม่เหมาะสม	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก		9	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	144
				พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	360
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	288
				การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	360

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การเชื่อมประกอบแท็งก์	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	ไม่เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดการผลิตแท็งก์ ไม่ผ่านการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข มีผลต่อความแข็งแรงและความสวยงามของแนวเชื่อมแท็งก์	9	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	144
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	360
				ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	1	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	72
				ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	7	ยังไม่มีการแก้ไข	10	630
				ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	432
				ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	6	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	432
				การตั้งค่าเครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	288
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม		3	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	48
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	96
				ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	144

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การติดตั้งฝา manhole	ผิวแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (ต่อ)	มีผลต่อความแข็งแรงและความสวยงามของแนวเชื่อมแท็งก์ สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข	3	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	48
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	96
				ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	144
				การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
การติดตั้งฝา nozzle	แนวเชื่อมตำแหน่ง nozzle มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	มีผลต่อความแข็งแรงและความสวยงามของแนวเชื่อมแท็งก์ สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข	3	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	48
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	96

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การติดตั้ง Nozzle (ต่อ)	แนวเชื่อมตำแหน่ง nozzle มีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม (ต่อ)		3	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	144
				การเคลื่อนที่หัวเชื่อมไม่เหมาะสม	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
				ระยะอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	120
การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	ไม่เป็นไปตามมาตรฐานข้อกำหนดการผลิตแท็งก์ ไม่ผ่านการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมแก้ไข มีผลต่อความแข็งแรงและความสวยงามของแนวเชื่อม	9	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	144
				พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	5	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	360
				ไม่มีมาตรฐานขั้นตอนวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	1	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	72
				ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	7	ยังไม่มีการแก้ไข	10	630
				ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	6	พนักงานทำการตรวจสอบเองในเบื้องต้น	8	432
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก		9	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง	2	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	144
				พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	5	มีเพียงการอบรมหน้างาน และไม่มีการประเมินผลและติดตาม	8	360
				การตั้งค่ากระแสไฟที่เครื่องเชื่อมไม่ถูกต้อง	4	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	288
				การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	5	มีการสุ่มตรวจโดยหัวหน้างาน	8	360

ตารางที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) (ต่อ)

ขั้นตอน	ลักษณะของข้อบกพร่อง	ผลกระทบของข้อบกพร่อง	S	สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง	O	การป้องกันและควบคุมกระบวนการ	D	RPN
การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	คุณสมบัติไม่เป็นไปตามต้นแบบ ไม่ผ่านการรับรองการใช้งานจากกรมโรงงานฯ ต้องทำการปรับเปลี่ยนแก้ไขอุปกรณ์ให้ถูกต้อง สูญเสียเวลาและต้นทุนค่าใช้จ่าย	9	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	5	ยังไม่มีการแก้ไข	10	450
				ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนการติดตั้ง	7	ยังไม่มีการแก้ไข	10	630

จากตารางที่ 5.17 จะเห็นได้ว่า มีข้อบกพร่อง 6 ประเภทจากขั้นตอนการผลิต 4 ขั้นตอนที่ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีค่า RPN เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ แต่จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์และการเชื่อมติดตั้งฝาหัว-ฝาท้ายนั้น มีข้อบกพร่องเหมือนกัน 2 ข้อบกพร่อง คือ ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพและข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก ซึ่งทั้ง 2 ข้อบกพร่องต่างก็เป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากงานเชื่อมโลหะทั้งสิ้น จึงทำการประชุมตกลงกับทางทีมงานว่า ข้อบกพร่องทั้ง 2 ประเภทดังกล่าว จะทำการปรับปรุงแก้ไขไปพร้อมกัน โดยถือว่ามีสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน ดังนั้น การกำหนดแนวทางมาตรการการแก้ไขข้อบกพร่อง จะทำการกำหนดจากสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องทั้ง 4 ประเภท ได้แก่ ข้อบกพร่องชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ ข้อบกพร่องผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก และข้อบกพร่องเตรียมอุปกรณ์ติดตั้งไม่ตรงตามต้นแบบ

5.7 การกำหนดแนวทางและมาตรการการแก้ไขปรับปรุง

เพื่อให้เกิดการแก้ไขปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ที่ตรงกับประเด็นปัญหา จึงทำการระดมสมองกับทีมงานเพื่อดำเนินการจัดทำแผนคุณภาพ (quality plan) สำหรับทุกขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์ เนื่องจากแผนคุณภาพจะเป็นกรอบคุณภาพที่จะระบุว่าแต่ละขั้นตอนมีคุณลักษณะคุณภาพอะไรบ้างที่จะต้องทำการควบคุมระหว่างการผลิตแท็งก์เพื่อให้ได้แท็งก์ที่มีคุณภาพและเป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย จากนั้นทำการประชุมร่วมกับทีมงานเพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องจากสาเหตุต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ให้สอดคล้องกับคุณลักษณะคุณภาพและปัจจัยสำคัญในแผนคุณภาพ ผลจากการประชุมประเด็นการแก้ไขได้ดังตารางที่ 5.18

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.18 แนวทางการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิต

ข้อบกพร่อง	วิธีการตรวจพบ	สาเหตุ	เสนอแนวทางการแก้ไข
1. ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	ตรวจพบจากการตรวจสอบจากเอกสารแท็งก์ต้นแบบในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ โดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบ
		พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับความสำคัญในด้านคุณภาพของแท็งก์
		ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	การสร้างมาตรฐานวิธีการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ
		ไม่มีการเก็บข้อมูลเพื่อนำข้อผิดพลาดไปปรับปรุง	การบันทึกข้อมูลการทำงานจากแบบตรวจสอบการทำงาน และควรวางแผนการตรวจสอบและเก็บข้อมูล
2. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	ตรวจพบโดยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT) โดยหน่วยงานตรวจสอบ	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	การฝึกอบรมพนักงานและวัดประสิทธิภาพการทำงานและความรู้ของพนักงาน
		ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับความรู้ในการเชื่อมโลหะ
		ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมประกอบโดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบการทำงาน
		ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	การนำเสนอเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานตรวจสอบแนวเชื่อมแก่โรงงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.18 แนวทางการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการผลิต (ต่อ)

ข้อบกพร่อง	วิธีการตรวจพบ	สาเหตุ	เสนอแนวทางการแก้ไข
3. ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	ตรวจพบโดยการสุ่มตรวจข้อบกพร่องด้วยสายตา โดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	การฝึกอบรมพนักงานและวัดประสิทธิภาพการทำงานและความรู้ของพนักงาน
		การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	การฝึกอบรมพนักงานและวัดประสิทธิภาพการทำงานและความรู้ของพนักงาน
4. เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	ตรวจพบในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	การฝึกอบรมให้ความรู้แก่พนักงานเกี่ยวกับความสำคัญในด้านคุณภาพของแท็งก์
		ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนการติดตั้ง	การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ โดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบ

จากตารางที่ 5.18 สรุปประเด็นการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้ ดังนี้

1. การจัดทำแผนคุณภาพ (quality plan)

   จัดทำแผนคุณภาพ เป็นกรอบคุณภาพของทั้งกระบวนการผลิต ที่ประกอบไปด้วยรายละเอียดคุณภาพแท็งก์ครอบคลุมทุกขั้นตอนการผลิตอย่างครบถ้วน เพื่อเป็นแนวทางในการหาวิธีการปรับปรุงคุณภาพที่เหมาะสม

2. การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน

   ในการดำเนินการปรับปรุงจะทำการจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน เพื่อการรวบรวมข้อมูลการเกิดข้อบกพร่องสำหรับการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตของงานวิจัยนี้ และเพื่อเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องในอนาคต

3. การสร้างมาตรฐานวิธีการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จะทำการจัดทำมาตรฐานวิธีการทำงานที่ถูกต้องในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ และทำการชี้แจงขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องแก่พนักงาน

4. การจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา

พร้อมทั้งจัดทำเอกสารมาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาสำหรับพนักงาน QC

5. การสร้างระบบการฝึกอบรมและพัฒนาประสิทธิภาพช่างเชื่อม

โดยการสร้างสื่อความรู้สำหรับการฝึกอบรม บทเรียนเฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL) แล้วทำวางแผนการฝึกอบรมให้ความรู้แก่ช่างเชื่อม และจะทำการวัดประสิทธิภาพของช่างเชื่อมทั้งในด้านความรู้และทักษะการทำงาน ในรูปแบบของ skill matrix

6. การกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพ (control plan)

เป็นมาตรการควบคุมการทำงานในกระบวนการผลิตภายหลังการปรับปรุงคุณภาพ หรือเป็นมาตรการตอบโต้ในกรณีที่เกิดปัญหาหรือข้อบกพร่องขึ้นในขั้นตอนการทำงาน โดยมาตรการควบคุมคุณภาพนี้จะเป็นเครื่องมือในการติดตามตรวจสอบเพื่อให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตจะมีการปรับปรุงและพัฒนาไปอย่างต่อเนื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิต

6.1 การสร้างแผนคุณภาพ (quality plan)

ก่อนการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ ทำการกำหนดขั้นตอนหลักในกระบวนการผลิตแท็งก์ และศึกษาพารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจของแต่ละขั้นตอนการผลิตที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของแท็งก์ โดยสามารถกำหนดขั้นตอนคุณภาพในกระบวนการผลิตตัวแท็งก์ได้ 13 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การเบิกอุปกรณ์
2. การเตรียมแผ่นโลหะ
3. การขึ้นรูปตัวแท็งก์
4. การเชื่อมประกอบแท็งก์
    - 4.1 การเชื่อมเสื้อแท็งก์
    - 4.2 การเชื่อมแผ่นกั้นช่อง
    - 4.3 การเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์
5. การติดตั้งฝา manhole
6. การติดตั้ง nozzle
7. การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย
8. การทดสอบแบบไม่ทำลาย RT
9. การตั้งศูนย์แท็งก์กับช่วงล่าง
10. การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ
11. การทดสอบแบบไม่ทำลาย UTM, PT และ Hydrostatic Test
12. การเชื่อมเก็บงาน
13. การตกแต่งทำสี

แต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตแท็งก์จำเป็นต้องดำเนินการให้เป็นไปตามพารามิเตอร์ที่กำหนด เพื่อให้แท็งก์ที่ได้จากการผลิตมีคุณภาพ โดยการดำเนินการจัดทำแผนคุณภาพมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน เครื่องมือหรือวิธีการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตรวจสอบ ความถี่ในการตรวจสอบ เอกสารอ้างอิง ผู้รับผิดชอบและผู้ตรวจสอบ จึงดำเนินการวิเคราะห์ละขั้นตอนเพื่อทำการกำหนดส่วนประกอบในแผนคุณภาพดังกล่าว ดังนี้

1) การเบิกวัสดุ

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการเบิกวัสดุ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเบิกวัสดุ

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1.ชนิดของแผ่นโลหะ 2.ความหนาของแผ่นโลหะ 3.ขนาดของแผ่นโลหะ 4.ชนิดของอุปกรณ์ใช้งาน 5.จำนวนอุปกรณ์ใช้งาน 6.ความสมบูรณ์ (ไม่ชำรุด) ของอุปกรณ์
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1.แผ่นโลหะถูกต้องตามใบรับรองสินค้า (mill certification) 2.ความหนาแผ่นโลหะตรงตามที่ได้ออกแบบ 3.อุปกรณ์ใช้งานสมบูรณ์ 4.จำนวนตรงตามใบสั่งงาน
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	1.สายตาผู้ตรวจสอบ 2.เครื่องวัดความหนา 3.การนับจำนวน
ความถี่ในการตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเบิกวัสดุ
เอกสารอ้างอิง	R1-F-01, R2-F-01
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกชิ้นส่วน
ผู้ตรวจสอบ	

2) การเตรียมแผ่นโลหะ

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1.ประเภทของแผ่นโลหะ 2.ขนาดของแผ่นโลหะ 3.ความหนาของแผ่นโลหะ 4.ขนาดของร่องบาก
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1. แผ่นโลหะถูกต้องตามใบรับรองสินค้า 2. ความหนาแผ่นโลหะตรงตามต้นแบบ 3. ขนาดการบากร่องเป็นไปตามต้นแบบและ WPS
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	1. สายตาผู้ตรวจสอบ 2. V-WAC gauge
ความถี่ในการตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเตรียมแผ่นโลหะ
เอกสารอ้างอิง	เอกสาร P1-F-01, เอกสารแท็งก์ต้นแบบ, เอกสาร WPS
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์
ผู้ตรวจสอบ	หัวหน้างานแผนกชิ้นส่วน

3) ขั้นตอนการขึ้นรูปตัวแท็งก์

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการขึ้นรูปตัวแท็งก์ ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการขึ้นรูปตัวแท็งก์

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1.การตั้งค่าเครื่องม้วน 2.การขึ้นรูปเป็นไปตามต้นแบบ
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1.การตั้งค่าเครื่องม้วนถูกต้องตามที่กำหนดไว้ 2.แผ่นโลหะม้วนไม่บิดงอ
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ
ความถี่ในการตรวจสอบ	ทุกครั้งของการขึ้นรูปตัวแท็งก์
เอกสารอ้างอิง	เอกสาร P2-F-01, เอกสารแท็งก์ต้นแบบ
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

4) การเชื่อมประกอบแท็งก์

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย คือ การเชื่อมเสื้อแท็งก์ การเชื่อมแผ่นกั้นช่อง และการเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์

4.1) การเชื่อมเสื้อแท็งก์

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการขึ้นรูปตัวแท็งก์ ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1. ตำแหน่งการเชื่อม 2. กระบวนการเชื่อม (TIG หรือ MIG-MAG) 3. ท่าทางในการเชื่อม 4. เทคนิคการเชื่อม 5. คุณภาพแนวเชื่อม
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1. เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) 2. พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม 3. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ
ความถี่ในการตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ
เอกสารอ้างอิง	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ, เอกสาร WD1-F-01, W-Check-01, W-Check-02, W-STD-01
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์ ช่างเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

4.2) การเชื่อมแผ่นกั้นช่องและเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์

แสดงรายละเอียดแผนคุณภาพในขั้นตอนการเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์ ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมแผ่นกั้นช่อง

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1. ความลึกจานโค้งของแผ่นกั้นช่อง 2. ตำแหน่งการเชื่อม 3. กระบวนการเชื่อม (TIG หรือ MIG-MAG) 4. ท่าทางในการเชื่อม 5. เทคนิคการเชื่อม 6. คุณภาพแนวเชื่อม 7. ช่างเชื่อมผู้ปฏิบัติงาน
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1. แผ่นกั้นช่องแต่ละแผ่นต้องมีความลึกเป็นไปตามต้นแบบ 2. เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) 3. พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม 4. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา 5. ช่างเชื่อมระดับ 3 หรือ 4
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ V-WAC gauge skill matrix
ความถี่ในการตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ
เอกสารอ้างอิง	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ, เอกสาร W1-F-02, W-Check-01, W-Check-02, W-STD-01
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5) การติดตั้งฝา manhole

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole ตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมติดตั้งฝา manhole

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1. ตำแหน่งติดตั้งฝา manhole 2. กระบวนการเชื่อม 3. ท่าทางในการเชื่อม 4. เทคนิคการเชื่อม 5. คุณภาพแนวเชื่อม
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1. เป็นไปตามแท็งก์ต้นแบบ 2. เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) 3. พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม 4. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ V-WAC gauge
ความถี่ในการตรวจสอบ	ทุกครั้งก่อนทำงาน สุ่มตรวจ
เอกสารอ้างอิง	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ, เอกสาร W2-F-01, W-Check-01, W-Check-02, W-STD-01
ผู้รับผิดชอบ	1. พนักงานแผนกผลิตแท็งก์ 2. ช่างเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6) การติดตั้ง nozzle

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการเชื่อม nozzle ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมติดตั้ง nozzle

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1. ตำแหน่งติดตั้ง nozzle 2. กระบวนการเชื่อม 3. ท่าทางในการเชื่อม 4. เทคนิคการเชื่อม 5. คุณภาพแนวเชื่อม
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1. เป็นไปตามแท็งก์ต้นแบบ 2. เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) 3. พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม 4. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ
ความถี่ในการตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ
เอกสารอ้างอิง	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ, W3-F-01, W-Check-01, W-Check-02, W-STD-01
ผู้รับผิดชอบ	1. พนักงานแผนกผลิตแท็งก์ 2. ช่างเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

7) การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1. ตำแหน่งติดตั้ง 2. กระบวนการเชื่อม 3. ท่าทางในการเชื่อม 4. เทคนิคการเชื่อม 5. ระยะยื่นของฝา 6. ลักษณะของฝา 5. คุณภาพแนวเชื่อม
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1. เป็นไปตามแท็งก์ต้นแบบ 2. เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) 3. พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม 4. ยื่นจากโครงแท็งก์ไม่เกิน 1.5 cm. 5. ฝาไม่บิดงอ 6. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ, V-WAC gauge
ความถี่ในการตรวจสอบ	ทุกครั้งก่อนทำงาน, การสุ่มตรวจ
เอกสารอ้างอิง	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ, W4-F-01, W-Check-01, W-Check-02, W-STD-01
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์ ช่างเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8. การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1.ชนิด ประเภท และจำนวนเป็นไปตามต้นแบบ 2.ตำแหน่งที่ติดตั้งเป็นไปตามที่ออกแบบ
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1.อุปกรณ์ถูกต้องตามแท็งก์ต้นแบบ 2.เป็นไปตามที่ได้ออกแบบ
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ, ตลับเมตร
ความถี่ในการตรวจสอบ	การตรวจสอบทุกครั้งที่ติดตั้งอุปกรณ์
เอกสารอ้างอิง	เอกสาร R2-F-01
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกติดตั้งอุปกรณ์
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

9. การเชื่อมเก็บงาน

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการเชื่อมเก็บงาน ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการเชื่อมเก็บงาน

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	การเก็บเจียรแนวเชื่อมด้านในและนอก
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	แนวเชื่อมเรียบสม่ำเสมอและสะอาด
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	สายตาผู้ตรวจสอบ
ความถี่ในการตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ
เอกสารอ้างอิง	-
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

10. การตกแต่งทำสี

แสดงรายละเอียดสำหรับแผนคุณภาพในขั้นตอนการตกแต่งทำสี ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 รายละเอียดข้อมูลแผนคุณภาพขั้นตอนการตกแต่งทำสี

ส่วนประกอบที่ควบคุม	รายละเอียดการควบคุม
พารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจ	1. การผสมสี 2. ชนิดสีที่ใช้ 3. ป้ายแสดงรหัสความเป็นอันตรายและหมายเลข UN 4. ป้ายสัญลักษณ์และการบ่งชี้อันตราย 5. ป้ายแสดงหมายเลขรหัสและทะเบียนแท็งก์
ค่าควบคุมหรือค่ามาตรฐาน	1.เป็นไปตามที่ตกลงกับลูกค้า 2. ตรงตามชนิดของสารที่จะบรรจุ 3. ขนาดของป้ายเป็นไปตามข้อกำหนดใน TP-II 4. ติดป้ายตำแหน่งถูกต้อง
เครื่องมือหรือวิธีการตรวจสอบ	1. สายตาผู้ตรวจสอบ 2. ตลับเมตร
ความถี่ในการตรวจสอบ	1. การสุ่มตรวจข้อบกพร่องจากการทำสี 2. การติดตั้งป้ายสัญลักษณ์วัตถุอันตรายตรวจ 100%
ผู้รับผิดชอบ	พนักงานแผนกตกแต่งทำสี
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สามารถสรุปแผนคุณภาพของกระบวนการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตรายได้ ดังรูปที่ตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 1/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
1	1. การเบิกวัสดุ	ประเภทของแผ่นโลหะ	แผ่นโลหะถูกต้องตามใบรับรองสินค้า (mill certification) และตรงตามต้นแบบ	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเบิกวัสดุ	ใบรับรองสินค้า	พนักงานเบิก	พนักงานแผนกชิ้นส่วน
		ขนาดของแผ่นโลหะ				เอกสาร R1-F-01		
		ความหนาของแผ่นโลหะ	ความหนาแผ่นโลหะตรงตามต้นแบบ	เครื่องวัดความหนา	ทุกครั้งของการเบิกวัสดุ	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	พนักงานแผนกชิ้นส่วน	พนักงานแผนกชิ้นส่วน
		ชนิดของอุปกรณ์ใช้งาน	อุปกรณ์ใช้งานตรงตามต้นแบบ	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเบิกวัสดุ	ใบรับรองสินค้าอุปกรณ์ใช้งาน	พนักงานแผนกชิ้นส่วน	พนักงานแผนกชิ้นส่วน
		จำนวนอุปกรณ์ใช้งาน	จำนวนตรงตามใบสั่งงาน	การนับจำนวน	ทุกครั้งของการเบิกวัสดุ	เอกสาร R2-F-01	พนักงานแผนกชิ้นส่วน	พนักงานแผนกชิ้นส่วน
		ความสมบูรณ์ (ไม่ชำรุด) ของอุปกรณ์	อุปกรณ์ไม่ชำรุดเสียหาย	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเบิกวัสดุ	เอกสาร R2-F-01	พนักงานแผนกชิ้นส่วน	พนักงานแผนกชิ้นส่วน
2								

หมายเหตุ: ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในขั้นตอนการเบิกวัสดุ ให้ดำเนินการตาม มาตรการควบคุม (เอกสาร R1-CP-01)

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 2/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
2	2. การเตรียมแผ่นโลหะ	ประเภทของแผ่นโลหะ	แผ่นโลหะถูกต้องตามใบรับรองสินค้า (mill certification)	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเตรียมแผ่นโลหะ	เอกสาร P1-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	หัวหน้างาน
		ขนาดของแผ่นโลหะ						
		ความหนาของแผ่นโลหะ	ความหนาแผ่นโลหะตรงตามต้นแบบ	เครื่องวัดความหนา	ทุกครั้งของการเตรียมแผ่นโลหะ	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	หัวหน้างาน
		ขนาดการบากร่อง	ขนาดการบากร่องเป็นไปตามต้นแบบและ WPS	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเตรียมแผ่นโลหะ	เอกสาร WPS	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	หัวหน้างาน
		• ระยะห่างระหว่างรอยต่อ (RG)	0.5 - 1.5 mm					
		• ผลรวมของมุมการบากร่องแผ่นโลหะทั้ง 2 แผ่น	60 องศา ± 5 องศา	V-WAC gauge				
		• ขนาดของผิวหน้าตัดของรอยต่อ	0 - 1.0 mm					
3		• ผิวหน้าเอียงของรอยต่อ	เรียบสม่ำเสมอ					

หมายเหตุ: ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ ให้ดำเนินการตามมาตรการควบคุม (เอกสาร P1-CP-01)

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 3/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการ สำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
3 ↓ 4	3. การขึ้นรูป	การตั้งค่าเครื่องม้วน	การตั้งค่าเครื่องม้วนถูกต้องตามที่กำหนดไว้	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการขึ้นรูปตัวแท็งก์	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		การขึ้นรูปเป็นไปตามต้นแ	แผ่นโลหะม้วนไม่บิดงอ	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการขึ้นรูปตัวแท็งก์	เอกสาร P2-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 4/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการ สำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
4	4. การเชื่อมประกอบแท็งก์							
	1) การเชื่อมเสื้อแท็งก์	ตำแหน่งการเชื่อม	เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS)	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งก่อนทำงาน	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ เอกสาร W1-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		กระบวนการเชื่อม (TIG หรือ MIG-MAG)						
		การตั้งค่าเชื่อม						
		ท่าทางในการเชื่อม	พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม		สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-01	ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง
		เทคนิคการเชื่อมของช่างเชื่อม						
		คุณภาพแนวเชื่อม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา	สายตาผู้ตรวจสอบ	สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-02 เอกสาร W-STD-01	ช่างเชื่อม	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		• รอยแตกที่ผิวเชื่อม	ห้ามเกิด					
		• รอยกัดแหว่งที่ผิวเชื่อ	ความลึก ≤ 1mm. หรือ ความลึก ≤ 2.5 mm. หากความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหว่งลึกรวมกันไม่เกิน 50 mm. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 mm.	V-WAC gauge				
		• รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด	ขนาด รวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของรอยเชื่อม					
		• รอยบูน	ความสูงรอยบูน≤ 2 mm.					
		• รอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	ห้ามเกิด					
5	ช่างเชื่อมผู้ปฏิบัติงาน		ช่างเชื่อมระดับ 3 หรือ 4	skill matrix			ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง

หมายเหตุ: ในกรณีที่แนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ ให้ดำเนินการตามมาตรการควบคุม (เอกสาร W1-CP-01)

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 5/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
5	4. การเชื่อมประกอบแท็งก์							
	2) การเชื่อมประกอบแผ่นกั้นช่องและเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์	ความลึกของจานโค้งของแผ่นกั้นช่อง	ลึก ≥ 1.5 cm.	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งที่ติดตั้ง	เอกสารการผลิตฝาจากแผนกชิ้นส่วน	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		ตำแหน่งการเชื่อม กระบวนการเชื่อม (TIG หรือ MIG-MAG) การตั้งค่าเชื่อม	เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS)		ทุกครั้งก่อนทำงาน	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ เอกสาร W1-F-02	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		ท่าทางในการเชื่อม เทคนิคการเชื่อมของช่างเชื่อม	พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม		สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-01	ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง
		คุณภาพแนวเชื่อม • รอยแตกที่ผิวเชื่อม • รอยกัดแหว่งที่ผิวเชื่อม • รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด • รอยนูน • รอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา ห้ามเกิด ความลึก ≤ 1mm. หรือ ความลึก ≤ 2.5 mm. หากความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหว่งลึกรวมกันไม่เกิน 50 mm. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 mm. ระยะของรอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของรอยเชื่อมทั้งหมด ความสูงรอยนูน≤ 2 mm. ห้ามเกิด	สายตาผู้ตรวจสอบ V-WAC gauge	สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-02 เอกสาร W-STD-01	ช่างเชื่อม	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
6		ช่างเชื่อมผู้ปฏิบัติงาน	ช่างเชื่อมระดับ 3 หรือ 4	skill matrix			ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง

หมายเหตุ: ในกรณีที่แนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ ให้ดำเนินการตามมาตรการควบคุม (เอกสาร W1-CP-01)

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 6/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
6	5. การติดตั้งฝา manhole	ตำแหน่งการติดตั้งฝา manhole	เป็นไปตามต้นแบบแท็งก์	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งก่อนทำงาน	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ เอกสาร W2-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		กระบวนการเชื่อม ใช้การเชื่อม MIG-MAG การตั้งค่าเชื่อม	เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS)					
		ท่าทางในการเชื่อม เทคนิคการเชื่อมของช่างเชื่อม	พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม		สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-01	ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง
		คุณภาพแนวเชื่อม • รอยแตกที่ผิวเชื่อม • รอยกัดแหว่งที่ผิวเชื่อม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา ห้ามเกิด ความลึก ≤ 1mm. หรือ ความลึก ≤ 2.5 mm. หากความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหว่งลึกรวมกันไม่เกิน 50 mm. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 mm.	สายตาผู้ตรวจสอบ V-WAC gauge	สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-02 เอกสาร W-STD-01	ช่างเชื่อม	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		• รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด	ระยะของรอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของรอยเชื่อมทั้งหมด					
7		• รอยนูน • รอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	ความสูงรอยนูน≤ 2 mm. ห้ามเกิด					

หมายเหตุ: ในกรณีที่แนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ ให้ดำเนินการตามมาตรการควบคุม (เอกสาร W2-CP-01 และ W-WI-01)

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 7/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
7	6. การติดตั้ง nozzle	ตำแหน่งการติดตั้ง nozzle กระบวนการเชื่อม ใช้การเชื่อม MIG-MAG การตั้งค่าเครื่องเชื่อม	เป็นไปตามต้นแบบแท็งก์ เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS)	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งก่อนทำงาน	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ เอกสาร W3-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		ทำทางในการเชื่อม เทคนิคการเชื่อมของช่างเชื่อม	พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม		สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-01	ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง
		คุณภาพแนวเชื่อม • รอยแตกที่ผิวเชื่อม • รอยกัดแหว่งที่ผิวเชื่อม • รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด • รอยบูน • รอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา ห้ามเกิด ความลึก ≤ 1mm. หรือ ความลึก ≤ 2.5 mm. หากความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหว่งลึกรวมกันไม่เกิน 50 mm. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 mm. ระยะของรอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของรอยเชื่อมทั้งหมด ความสูงรอยบูน≤ 2 mm. ห้ามเกิด	สายตาผู้ตรวจสอบ V-WAC gauge	สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-02 เอกสาร W-STD-01	ช่างเชื่อม	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
8								

หมายเหตุ: ในกรณีที่แนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ ให้ดำเนินการตามมาตรการควบคุม (เอกสาร W3-CP-01 และ W-WI-01)

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 8/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
8	7. การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	ตำแหน่งการติดตั้ง	เป็นไปตามต้นแบบแท็งก์	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งก่อนทำงาน	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		กระบวนการเชื่อม ใช้การเชื่อม MIG-MAG	เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS)			เอกสาร W4-F-01		
		การตั้งค่าเครื่องเชื่อม						
		ท่าทางในการเชื่อม	พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม		สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-01	ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง
		เทคนิคการเชื่อมของช่างเชื่อม						
		ระยะยื่นของฝา	ยื่นออกจากโครงแท็งก์ไม่เกิน 1.5 cm.	Vernier Calipers	ทุกครั้งที่ติดตั้ง	เอกสาร W4-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		ลักษณะของฝา	ไม่บิดงอ	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งที่ติดตั้ง	เอกสาร W4-F-01	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		คุณภาพแนวเชื่อม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา	สายตาผู้ตรวจสอบ	สุ่มตรวจ	เอกสาร W-Check-02	ช่างเชื่อม	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		• รอยแตกที่ผิวเชื่อม	ห้ามเกิด					
		• รอยกัดแหว่งที่ผิวเชื่อม	ความลึก ≤ 1mm. หรือ ความลึก ≤ 2.5 mm. หากความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยกัดแหว่งลึกรวมกันไม่เกิน 50 mm. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 mm.			เอกสาร W-STD-01		
		• รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด	ระยะของรอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาดรวมกันต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของรอยเชื่อมทั้งหมด	V-WAC gauge	หมายเหตุ: ในกรณีที่แนวเชื่อมไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยสายตาจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ ให้ดำเนินการตามมาตรการควบคุม (เอกสาร W4-CP-01 และ W-WI-01)			
		• รอยนูน	ความสูงรอยนูน≤ 2 mm.					
		• รอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	ห้ามเกิด					
9		ช่างเชื่อมผู้ปฏิบัติงาน	ช่างเชื่อมระดับ 3 หรือ 4	skill matrix			ช่างเชื่อม	หัวหน้าช่าง

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 9/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
9	8. การทดสอบแบบไม่ทำลาย RT	คุณภาพแท็งก์	ผ่านการทดสอบและได้รับการรับรอง	จากหน่วยงานตรวจสอบ	แท็งก์ทุกลูก	เอกสาร T-F-01	ฝ่ายผลิตของโรงงานฯ	หน่วยงานตรวจสอบ
	9. การติดตั้งกับช่วงล่าง	ระดับการติดตั้งเป็นไปตามต้นแบบ	ระดับตั้งฉากและขนานกับช่วงล่าง	อุปกรณ์วัดน้ำ	ทุกครั้งที่มีการติดตั้ง	เอกสารต้นแบบ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
10	10. การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	ชนิดและประเภทเป็นไปตามต้นแบบ ตำแหน่งที่ติดตั้งเป็นไปตามที่ออกแบบ	อุปกรณ์ถูกต้องตามต้นแบบ เป็นไปตามต้นแบบ	สายตาผู้ตรวจสอบ ตลับเมตร	ทุกครั้งที่มีการติดตั้ง	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ เอกสาร R2-F-01	พนักงานแผนกติดตั้งอุปกรณ์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
					หมายเหตุ: ผลการทดสอบแท็งก์แบบไม่ทำลาย NDT ให้บันทึกลงในเอกสาร T-F-01 เพื่อนำผลแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบพิจารณาปรับปรุงแก้ไขต่อไป			

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01)

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
10	11. การทดสอบแบบไม่ทำลาย UTM,PT และ Hydrostatic Test	คุณภาพแท็งก์	ผ่านการทดสอบและได้รับการรับรอง	จากหน่วยงานตรวจสอบ	แท็งก์ทุกลูก	เอกสาร T-F-01	ฝ่ายผลิตของโรงงานฯ	หน่วยงานตรวจสอบ
11	12. การเชื่อมเก็บงาน	การเก็บเจียรแนวเชื่อมด้านใน การเก็บเจียรแนวเชื่อมด้านนอก	แนวเชื่อมเรียบสม่ำเสมอและสะอาด แนวเชื่อมเรียบสม่ำเสมอและสะอาด	สายตาผู้ตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ		พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
					หมายเหตุ: ผลการทดสอบแท็งก์แบบไม่ทำลาย NDT ให้บันทึกลงในเอกสาร T-F-01 เพื่อนำผลแท็งก์ที่ไม่ผ่านการทดสอบพิจารณาปรับปรุงแก้ไขต่อไป			

ตารางที่ 6.12 แผนคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตแท็งก์ในโรงงานกรณีศึกษา (ต่อ)

แผนคุณภาพ (Quality Plan) (หมายเลขเอกสาร QP-01) Page 11/11

ผังการไหล	กระบวนการ	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	ค่าควบคุม/ค่ามาตรฐาน	เครื่องมือ/วิธีการสำหรับการตรวจสอบ	ความถี่ในการตรวจสอบ	เอกสารอ้างอิง	ผู้รับผิดชอบ	ผู้ตรวจสอบ
11	13. การตกแต่งทำสี	การผสมสี	เป็นไปตามที่ตกลงกับลูกค้า	สายตาผู้ตรวจสอบ ตลับเมตร	ทุกครั้งของการทำสี	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	พนักงานแผนกตกแต่งทำสี	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ
		ชนิดสีที่ใช้						
		ป้ายแสดงรหัสความเป็นอันตรายและหมายเลขสหประชาชาติ (UN)	ตรงกับชนิดของสารเคมีที่จะทำการบรรจุ ขนาดของป้ายเป็นไปตามข้อกำหนดใน TP-II ตำแหน่งที่ติดป้ายถูกต้อง	สายตาผู้ตรวจสอบ ตลับเมตร	ตรวจสอบทุกครั้งที่มีการติดตั้งป้าย			
		ป้ายสัญลักษณ์และการบ่งชี้อันตรายตามข้อกำหนด UNTDG	ตรงกับชนิดของสารเคมีที่จะทำการบรรจุ ขนาดของป้ายเป็นไปตามข้อกำหนดใน TP-II ตำแหน่งที่ติดป้ายถูกต้อง	สายตาผู้ตรวจสอบ ตลับเมตร				
		ป้ายแสดงหมายเลขรหัสแท็งก์และทะเบียนแท็งก์	ตรงกับรหัสแท็งก์ L4BN และทะเบียนแท็งก์ที่ได้จากกรมโรงงานฯ ขนาดของป้ายเป็นไปตามข้อกำหนดใน TP-II ตำแหน่งที่ติดป้ายถูกต้อง	สายตาผู้ตรวจสอบ ตลับเมตร				

จากตารางที่ 6.12 เมื่อได้แผนคุณภาพในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตแล้ว เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าแผนคุณภาพมีความถูกต้องและมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้ในโรงงานกรณีศึกษา จึงดำเนินการดังนี้

1) ทำการทวนสอบความสอดคล้องของแผนคุณภาพกับข้อกำหนดการผลิตและการทดสอบคุณภาพแท็งก์จากข้อกำหนด ADR และ TP-II
2) ทำการวางแผนการฝึกอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพของแต่ละขั้นตอนการผลิตแก่พนักงานและช่างเชื่อมที่ประจำอยู่ในขั้นตอนการผลิตนั้นๆ จากนั้นทำการทดลองใช้แผนคุณภาพในแต่ละขั้นตอนการผลิต เพื่อทดสอบว่าเกิดปัญหาจากการทดลองใช้งานหรือไม่ จากนั้นทำการปรับปรุงแผนคุณภาพให้เหมาะสม

การสร้างแผนคุณภาพทำให้การทำงานในขั้นตอนการผลิตเกิดความเป็นระบบและเป็นแบบแผนมากยิ่งขึ้น การทำงานแต่ละขั้นตอนจะมีการตรวจสอบเพื่อเป็นวิธีหนึ่งในการลดความผิดพลาดของการทำงานที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพแท็งก์ โดยมีการจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน มาตรฐานวิธีการทำงาน เอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องและมาตรฐานสำหรับการตรวจสอบข้อบกพร่องในขั้นตอนการผลิต

6.2 การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน

การตรวจสอบการทำงานในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษา เป็นไปในลักษณะของการสุ่มตรวจสอบ โดยหัวหน้างาน วิศวกร หรือพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (พนักงาน QC) จะทำการสุ่มตรวจสอบในแต่ละไลน์การผลิต การตรวจสอบการทำงานของช่างแต่ละคน เมื่อพบข้อผิดพลาดหรือการทำงานที่ไม่ถูกต้อง จะทำการแจ้งให้พนักงานทราบทันที เพื่อให้พนักงานได้ดำเนินการแก้ไขในส่วนงานนั้น แต่เนื่องจากเป็นการบอกรายละเอียดความผิดพลาดด้วยปากเปล่า จึงทำให้การตรวจสอบที่ผ่านมาของโรงงานฯ ไม่มีข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงการผลิต งานวิจัยนี้จึงจัดทำระบบการติดตามตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการผลิตแท็งก์ ในรูปแบบของการจัดทำเอกสารการตรวจสอบ เพื่อให้การตรวจสอบการทำงานมีความเป็นระบบและเพื่อให้โรงงานฯ สามารถจัดเก็บข้อมูลทางสถิติสำหรับการพัฒนากระบวนการผลิตได้ต่อไป

โดยวิธีการสร้างเอกสารการตรวจสอบสำหรับการเก็บข้อมูล มีขั้นตอน ดังนี้

1) การศึกษาขั้นตอนการทำงานและลักษณะคุณภาพของแต่ละขั้นตอนการทำงาน สำหรับขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาจากพัฒนาแผนคุณภาพ (quality plan) หัวข้อที่ 6.1

2) การประชุมหารือกับทีมงานแผนกควบคุมคุณภาพของโรงงานฯ เพื่อการกำหนดประเด็นที่จะต้องทำการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตแท็งก์ เนื่องจากเดิมทางแผนกควบคุมคุณภาพ ได้มีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพในการทำงานของพนักงานและช่างเชื่อมในแต่ละขั้นตอนการผลิตอยู่แล้ว

3) การรวบรวมประเด็นการตรวจสอบเพื่อดำเนินการจัดทำเอกสารการตรวจสอบ

4) การประเมินเอกสารการตรวจสอบโดยทีมงาน และทำการปรับปรุงแก้ไขให้การใช้งานมีความเหมาะสม สะดวกในการตรวจสอบและสามารถตรวจสอบได้อย่างครบถ้วน

5) การทดลองใช้เอกสารการตรวจสอบการทำงานของพนักงานและช่างเชื่อม ในขั้นตอนการผลิตโดยผู้วิจัย เพื่อให้ทราบถึงปัญหาหรือความขัดข้องที่อาจเกิดขึ้นขณะดำเนินการตรวจสอบการทำงาน เพื่อการนำมาประชุมกับทีมงานและกำหนดวิธีการแก้ไข

6) การดำเนินการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการผลิตแท็งก์โดยพนักงาน QC

จากการประชุมเพื่อกำหนดประเด็นการตรวจสอบในเอกสารการตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนการผลิตแท็งก์ สามารถแบ่งประเภทของเอกสารการตรวจสอบตามการทำงานได้ ดังนี้

1) เอกสารการเบิกวัสดุ
   - เอกสารการเบิกวัสดุของขั้นตอนเตรียมแผ่นโลหะ
   - เอกสารการเบิกวัสดุของขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ
2) เอกสารการติดตามตรวจสอบการทำงาน
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการขึ้นรูป
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้ง nozzle
   - เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย

สำหรับการรวบรวมประเด็นสำคัญสำหรับการสร้างเอกสารการตรวจสอบการทำงานนั้น จะนำส่วนประกอบที่ควบคุมในแผนคุณภาพ ได้แก่ พารามิเตอร์หรือเกณฑ์ในการตัดสินใจ มาใช้เป็นหัวข้อสำหรับการตรวจสอบหาข้อบกพร่องในแต่ละขั้นตอนการทำงาน เนื่องจากแต่ละขั้นตอนการ

ผลิตจะมีปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพแท็งก์แตกต่างกัน การใช้แบบฟอร์มสำหรับการเก็บข้อมูลข้อบกพร่องนั้นจะเป็นไปในลักษณะของการผ่านหรือไม่ผ่านการตรวจสอบ ขึ้นอยู่กับการพิจารณาตามเกณฑ์ของหัวหน้างานหรือพนักงาน QC

6.2.1 การจัดทำเอกสารการเบิกวัสดุ

ในขั้นตอนการเบิกวัสดุ พารามิเตอร์หรือเกณฑ์ในการติดสินใจซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของแท็งก์นั้น ได้แก่ ชนิด ขนาดและความหนา (สำหรับแผ่นโลหะ) ที่จะต้องเป็นไปตามต้นแบบ อีกทั้งวัสดุที่ทำการเบิกจะต้องมีความสมบูรณ์ไม่มีการชำรุดเสียหาย จากปัจจัยดังกล่าว สามารถจัดทำเอกสารการเบิกวัสดุ ประกอบด้วยการเบิกแผ่นโลหะของขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ และการเบิกอุปกรณ์ในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ได้ดังตารางที่ 6.13 และ 6.14 ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.13 เอกสารการเบิกแผ่นโลหะ (R1-F-01)

			เอกสาร หมายเลข R1-F-01		
แบบตรวจสอบการทำงาน	Report No.		Tank No.		
ขั้นตอน การเบิกแผ่นโลหะ	เวลาที่ตรวจสอบ		วันตรวจสอบ		
รายการตรวจสอบ	Drawing No.		ครั้งที่ตรวจสอบ		
	วัสดุไม่ชำรุดเสียหาย		ขนาด	จำนวน	ความหนา (mm.)
	ผ่าน	ไม่ผ่าน			
1. แผ่นโลหะ หมายเลข 1 2. แผ่นโลหะ หมายเลข 2 3. แผ่นโลหะ หมายเลข 3 4. แผ่นโลหะ หมายเลข 4 5. ฝาหัว 6. ฝาท้าย 7. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 1 8. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 2 9. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 3 10. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 4 11. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 5					
รายการอื่นๆ โปรดระบุ					
พนักงานเบิก วันเวลาเบิก	พนักงานแผนกวัสดุคงคลัง				

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 6.14 เอกสารการเบิกอุปกรณ์ (R2-F-01)

<table>
<tr><td colspan="6">เอกสาร หมายเลข R2-F-01</td></tr>
<tr><td rowspan="2">แบบตรวจสอบการทำงาน
ขั้นตอน การเบิกอุปกรณ์</td><td colspan="2">Report No.</td><td colspan="3">Tank No.</td></tr>
<tr><td colspan="2">เวลาที่ตรวจสอบ</td><td colspan="3">วันตรวจสอบ</td></tr>
<tr><td rowspan="3">รายการตรวจสอบ</td><td colspan="2">Drawing No.</td><td colspan="3">เบิกครั้งที่</td></tr>
<tr><td colspan="2">วัสดุไม่ชำรุดเสียหาย</td><td rowspan="2">ขนาด</td><td rowspan="2">จำนวน</td><td rowspan="2">ชนิด/
รหัส</td></tr>
<tr><td>ผ่าน</td><td>ไม่ผ่าน</td></tr>
<tr><td>1. วาล์วภายใน
2. วาล์วภายนอก
3. วาล์วนิรภัย
4. ฝา Manhole</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="6">รายการอื่นๆ โปรดระบุ</td></tr>
<tr><td>พนักงานเบิก
วันเวลาเบิก</td><td colspan="5">พนักงานแผนกวัสดุคงคลัง</td></tr>
</table>

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6.2.2 การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน

1) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ

ขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ มีพารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพแท็งก์ คือ ประเภท ขนาดและความหนาของแผ่นโลหะแต่ละแผ่น ต้องเป็นไปตามต้นแบบ นอกจากนี้ การเตรียมแผ่นโลหะโดยการบากร่องที่มุมขอบแผ่นโลหะแต่ละแผ่น ขนาดต้องถูกต้องตามมาตรฐาน โดยแท็งก์แต่ละลูกจะใช้แผ่นโลหะทั้งหมด 4 แผ่น แสดงผลการจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ (P1-F-01) ได้ดังตารางที่ 6.15

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.15 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ (P1-F-01)

เอกสารหมายเลข P1-F-01

แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การเตรียมแผ่นโลหะ**	แผ่นโลหะหมายเลข	Tank No.
	เวลาที่ตรวจสอบ	วันตรวจสอบ
	Drawing No.	ครั้งที่ตรวจสอบ
	ชนิดแผ่นโลหะ	ความหนา (mm)
	ขนาด (กว้างxยาว)	Heat No.

แผ่นโลหะหมายเลข 1

1. ชนิดแผ่นโลหะถูกต้อง ตรงตามต้นแบบ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
2. การทำความสะอาดผิวแผ่นโลหะ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
การบากร่อง		
3. หมายเลข 1,2,3 มีขนาดถูกต้อง	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
4. หมายเลข 4 ร่องบากผิวเรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน

แผ่นโลหะหมายเลข 2

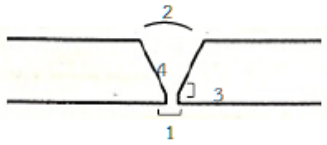
1. ชนิดแผ่นโลหะถูกต้อง ตรงตามต้นแบบ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
2. การทำความสะอาดผิวแผ่นโลหะ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
การบากร่อง		
3. หมายเลข 1,2,3 มีขนาดถูกต้อง	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
4. หมายเลข 4 ร่องบากผิวเรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน

แผ่นโลหะหมายเลข 3

1. ชนิดแผ่นโลหะถูกต้อง ตรงตามต้นแบบ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
2. การทำความสะอาดผิวแผ่นโลหะ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
การบากร่อง		
3. หมายเลข 1,2,3 มีขนาดถูกต้อง	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
4. หมายเลข 4 ร่องบากผิวเรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน

มาตรฐานการตรวจสอบสำหรับการบากร่องแท็งก์ L4BN

#1	0.5-1.5 mm
#2	60 Degree
#3	0-1 mm
#4	เรียบสม่ำเสมอ



แผ่นโลหะหมายเลข 4

1. ชนิดแผ่นโลหะถูกต้อง ตรงตามต้นแบบ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
2. การทำความสะอาดผิวแผ่นโลหะ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
การบากร่อง		
3. หมายเลข 1,2,3 มีขนาดถูกต้อง	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
4. หมายเลข 4 ร่องบากผิวเรียบสม่ำเสมอ ไม่ขรุขระ	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน

ผู้ปฏิบัติงาน

หัวหน้าผู้ตรวจสอบ

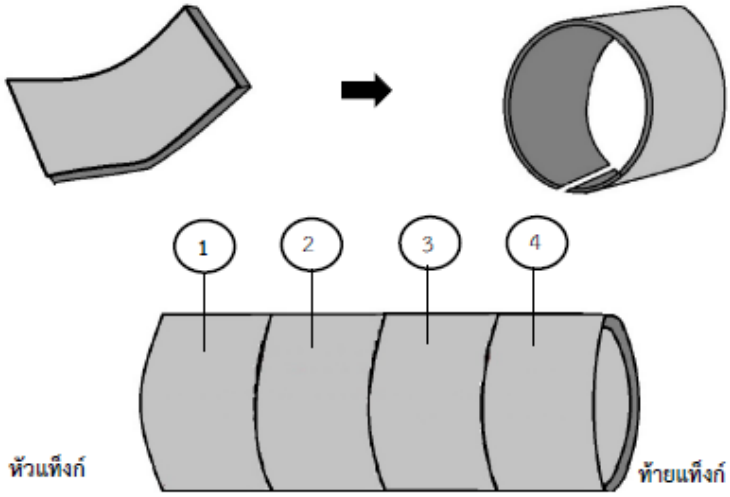
วิศวกรคุมงาน

2) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการขึ้นรูป

ขั้นตอนการขึ้นรูป มีพารามิเตอร์หรือเกณฑ์การตัดสินใจซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพแท็งก์ คือ การตั้งค่าเครื่องม้วนที่ถูกต้องมีผลทำให้ระยะม้วนขึ้นรูปแท็งก์เป็นไปตามต้นแบบ การไม่เกิดการบิดงอของแผ่นโลหะขณะทำการม้วน แสดงเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการขึ้นรูป (P2-F-01) ในตารางที่ 6.16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

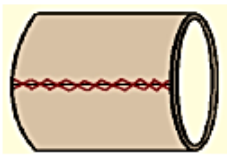
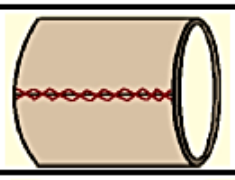
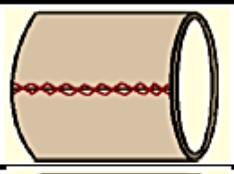
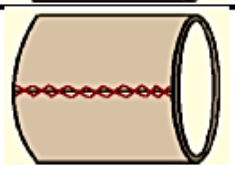
ตารางที่ 6.16 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการขึ้นรูป (P2-F-01)

		เอกสารหมายเลข	P2-F-01
แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การขึ้นรูป**	Report No.	Tank No.	Page
	เวลาที่ตรวจสอบ	วันตรวจสอบ	
รูปภาพประกอบ  	Drawing No.	ครั้งที่ตรวจสอบ	
	ชนิดแผ่นโลหะ	ความหนา (mm)	
	ขนาด	Heat No.	
	รายการตรวจสอบ	**ผ่าน**	**ไม่ผ่าน**
	1. ทุกแผ่นโลหะผ่านการบากร่องรอยต่อเรียบร้อย		
	2. เครื่องม้วน พร้อมใช้งาน		
	3. เครื่องม้วน ตั้งค่า อัตราการม้วน ถูกต้อง		
	4. Jix Fixure อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องตรงตามแบบ		
	5. เส้นผ่านศูนย์กลางของระยะม้วน ตรงตามแบบ		
	แผ่นโลหะหมายเลข 1		
	แผ่นโลหะหมายเลข 2		
	แผ่นโลหะหมายเลข 3		
	แผ่นโลหะหมายเลข 4		
	6. แผ่นโลหะไม่มีการยุบตัวหรือบิดงอ		
	แผ่นโลหะหมายเลข 1		
ผู้ปฏิบัติงาน	แผ่นโลหะหมายเลข 2		
หัวหน้าผู้ตรวจสอบ	แผ่นโลหะหมายเลข 3		
วิศวกรคุมงาน	แผ่นโลหะหมายเลข 4		

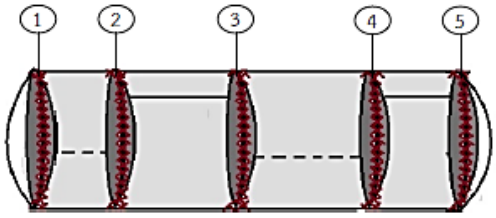
3) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์

เอกสารการตรวจสอบในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ จัดทำเป็น 2 ฉบับ ประกอบด้วยเอกสารสำหรับการตรวจสอบในขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์ และเอกสารการตรวจสอบในขั้นตอนการเชื่อมแผ่นก้นช่องและการเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์ (W1-F-01)

ตารางที่ 6.17 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์ (W1-F-01)

	เอกสารหมายเลข W1-F-01		
แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การเชื่อมเสื้อแท็งก์**	Report No.	Tank No.	Page
	เวลาที่ตรวจสอบ	วันตรวจสอบ	
รูปภาพประกอบ	Drawing No.	ครั้งที่ตรวจสอบ	
	รายการตรวจสอบ	**รายละเอียด**	
	เสื้อแท็งก์ (4 วง)		
	1. เสื้อแท็งก์วงที่ 1	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	2. เสื้อแท็งก์วงที่ 2	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	3. เสื้อแท็งก์วงที่ 3	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	4 เสื้อแท็งก์วงที่ 4	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
หมายเหตุ กรณีงานเชื่อมไม่ผ่าน QC, QC ต้องทำสัญลักษณ์ระบุตำแหน่ง และลักษณะข้อบกพร่องกำกับ	**พนักงาน QC ผู้ตรวจสอบ**_____**วัน/เวลา** **หัวหน้าแผนกเชื่อม**_____		

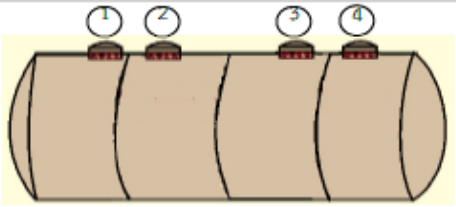
ตารางที่ 6.18 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมแผ่นกั้นช่องและเชื่อมประกอบแท็งก์ (W1-F-02)

		เอกสารหมายเลข W1-F-02	
แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การเชื่อมประกอบแผ่นกั้นช่องและเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์**	Report No.	Tank No.	Page
	เวลาที่ตรวจสอบ	วันตรวจสอบ	
	Drawing No.	ครั้งที่ตรวจสอบ	
รูปภาพประกอบ  	**รายการตรวจสอบ**	**รายละเอียด**	
	เสื้อแท็งก์ (4 วง)		
	1. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 1	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	2. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 2	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	3. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 3	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	4. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 4	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
หมายเหตุ กรณีงานเชื่อมไม่ผ่าน QC, QC ต้องทำสัญลักษณ์ระบุตำแหน่ง และลักษณะข้อบกพร่องกำกับ	5. แผ่นกั้นช่อง แผ่นที่ 5	ผู้เชื่อม วันที่เริ่ม_____ เวลา_____ วันที่เสร็จ_____ เวลา_____	
พนักงาน QC ผู้ตรวจสอบ_____วัน/เวลา **หัวหน้าแผนกเชื่อม_____**	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

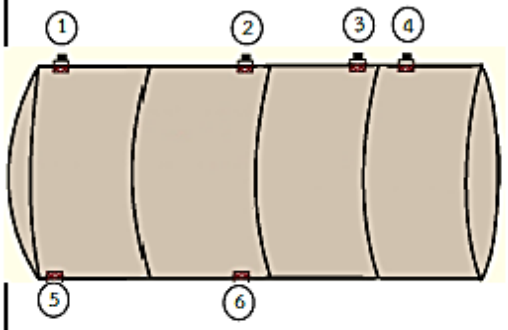
4) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole

ตารางที่ 6.19 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole (W2-F-01)

เอกสารหมายเลข W2-F-01			
แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การติดตั้งฝา Manhole**	Report No.	Tank No.	Page
	เวลาที่ตรวจสอบ	วันตรวจสอบ	
	Drawing No.	ครั้งที่ตรวจสอบ	
รูปภาพประกอบ ฝา Manhole  	1. ฝา Manhole ตำแหน่งที่ 1 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน		
	2. ฝา Manhole ตำแหน่งที่ 2 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน		
	3. ฝา Manhole ตำแหน่งที่ 3 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน		
หมายเหตุ กรณีงานเชื่อมไม่ผ่าน QC, QC ต้องทำสัญลักษณ์ระบุตำแหน่งและลักษณะข้อบกพร่องกำกับ	4. ฝา Manhole ตำแหน่งที่ 4 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน		
พนักงาน QC ผู้ตรวจสอบ_____**วัน/เวลา** **หัวหน้าแผนกเชื่อม**_____			

5) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้ง nozzle

ตารางที่ 6.20 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้ง nozzle (W3-F-01)

	เอกสารหมายเลข W3-F-01
แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การติดตั้ง Nozzle**	Report No. Tank No. Page เวลาที่ตรวจสอบ วันตรวจสอบ Drawing No. ครั้งที่ตรวจสอบ
รูปภาพประกอบ  	**1. Nozzle ตำแหน่งที่ 1** ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
	2. Nozzle ตำแหน่งที่ 2 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
5. Nozzlee ตำแหน่งที่ 5 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน	**3. Nozzle ตำแหน่งที่ 3** ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
6. Nozzlee ตำแหน่งที่ 6 ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน	**4. Nozzlee ตำแหน่งที่ 4** ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ ระยะติดตั้ง ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม ☐ ผ่าน ☐ ไม่ผ่าน
หมายเหตุ กรณีงานเชื่อมไม่ผ่าน QC, QC ต้องทำสัญลักษณ์ระบุตำแหน่งและลักษณะข้อบกพร่องกำกับ	**พนักงาน QC ผู้ตรวจสอบ**_____**วัน/เวลา** **หัวหน้าแผนกเชื่อม**_____

6) เอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย

ตารางที่ 6.21 เอกสารการตรวจสอบการทำงานขั้นตอน การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย (W4-F-01)

		เอกสารหมายเลข W4-F-01	
แบบตรวจสอบการทำงาน **ขั้นตอน การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย**	Report No.	Tank No.	Page
	เวลาที่ตรวจสอบ	วันตรวจสอบ	
รูปภาพประกอบ	Drawing No.	ครั้งที่ตรวจสอบ	
 ฝาหัว ฝาท้าย	**1. ติดตั้งฝาหัว** ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ		
	ระยะติดตั้งไม่ยื่นออกจากโครงแท็งก์เกิน 1.5 ซม.	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
	พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
หมายเหตุ กรณีงานเชื่อมไม่ผ่าน QC, QC ต้องทำสัญลักษณ์ระบุตำแหน่ง และลักษณะข้อบกพร่องกำกับ	**2. ติดตั้งฝาท้าย** ผู้เชื่อมติดตั้ง วันที่เริ่ม เวลาเริ่ม วันที่เสร็จ เวลาเสร็จ		
พนักงาน QC ผู้ตรวจสอบ_____**วัน/เวลา**	**ระยะติดตั้งยื่นออกจากโครงแท็งก์ไม่เกิน 1.5 ซม.**	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน
หัวหน้าแผนกเชื่อม_____	**พนักงาน QC ตรวจสอบแนวเชื่อม**	☐ ผ่าน	☐ ไม่ผ่าน

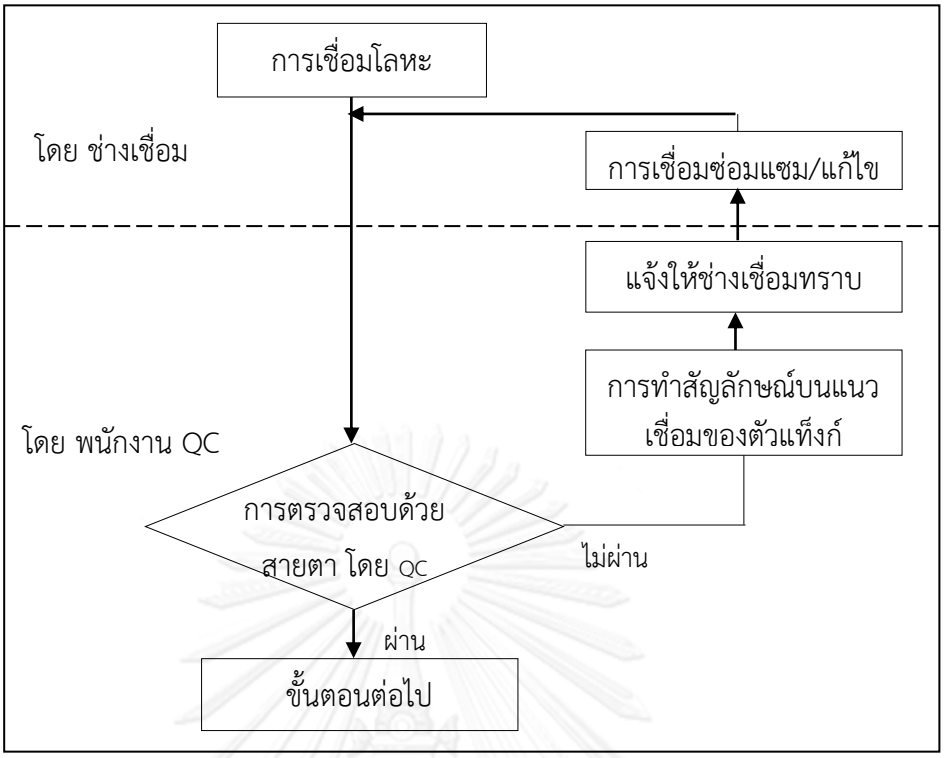
6.3 การสร้างมาตรฐานวิธีการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ

ทำการศึกษาการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะและศึกษาข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (Welding Procedure Specification, WPS) ของต้นแบบสำหรับแท็งก์ L4BN จากนั้นจัดทำเป็นมาตรฐานวิธีการทำงาน (Work Instruction, WI) แสดงเอกสาร WI ในภาคผนวก จ แล้วทำการอบรมพนักงานในแผนกผลิตแท็งก์ที่ทำหน้าที่เตรียมแผ่นโลหะสำหรับขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้องตามมาตรฐานวิธีการทำงาน

6.4 การจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา

การสร้างเอกสารการตรวจสอบการทำงาน (check sheet) สำหรับขั้นตอนการเชื่อมโลหะ เนื่องจากโรงงานฯ มีการตรวจสอบในลักษณะการตรวจสอบหน้างาน คือ เมื่อพบปัญหาหรือข้อบกพร่องหัวหน้างานจะแจ้งให้ช่างเชื่อมทำการแก้ไขในจุดนั้น หรือทำสัญลักษณ์ต่างๆ ไว้บนตัวแท็งก์เพื่อให้ช่างเชื่อมแก้ไขในจุดนั้น แต่ไม่มีการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบความผิดพลาดหรือข้อบกพร่องที่ตรวจพบ โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมด้วยสายตาแบบเดิมของทางโรงงานฯ ได้ภาพที่ 6.1

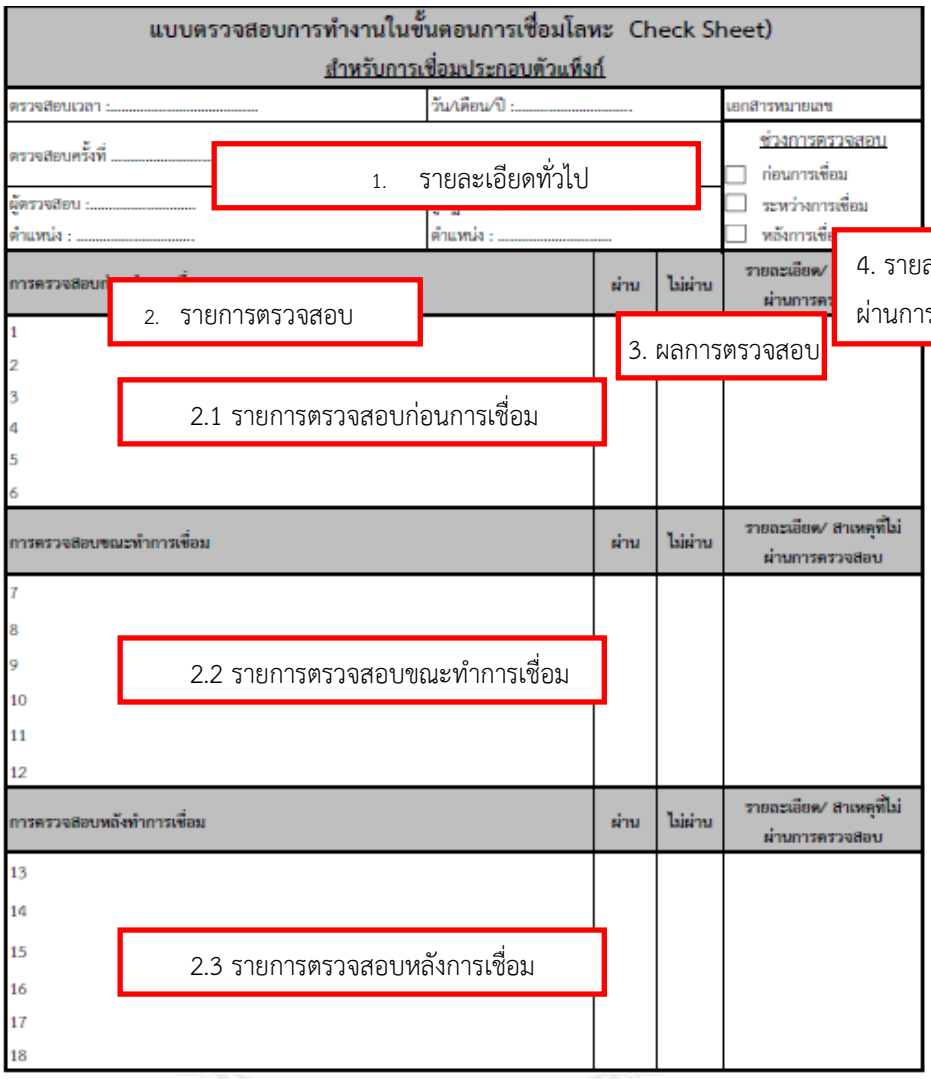
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 6.1 ขั้นตอนการตรวจการเชื่อมโลหะ

จากปัญหาการเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมแล้วไม่มีการเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งทำให้บางครั้งเกิดความผิดพลาดในการสื่อสารระหว่างพนักงาน QC กับช่างเชื่อม จึงทำการสร้างแบบตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อมโลหะ (เอกสาร W-Check-01) มีส่วนประกอบ ดังนี้ (1) รายละเอียดทั่วไปของการตรวจสอบ เช่น ชื่อและตำแหน่งของผู้ตรวจสอบ ครั้งของการตรวจสอบ เป็นต้น (2) รายการตรวจสอบ โดยแบ่งเป็นรายการตรวจสอบ 3 สถานะ คือ (2.1) รายการตรวจสอบก่อนการเชื่อมโลหะ (2.2) รายการตรวจสอบขณะทำการเชื่อมโลหะ และ (2.3) รายการตรวจสอบหลังการเชื่อมโลหะ (3) ผลการตรวจสอบ และ (4) รายละเอียดหรือสาเหตุที่ทำให้ไม่ผ่านการตรวจสอบ แสดงตัวอย่างแบบฟอร์ม ดังภาพที่ 6.2

Chulalongkorn University

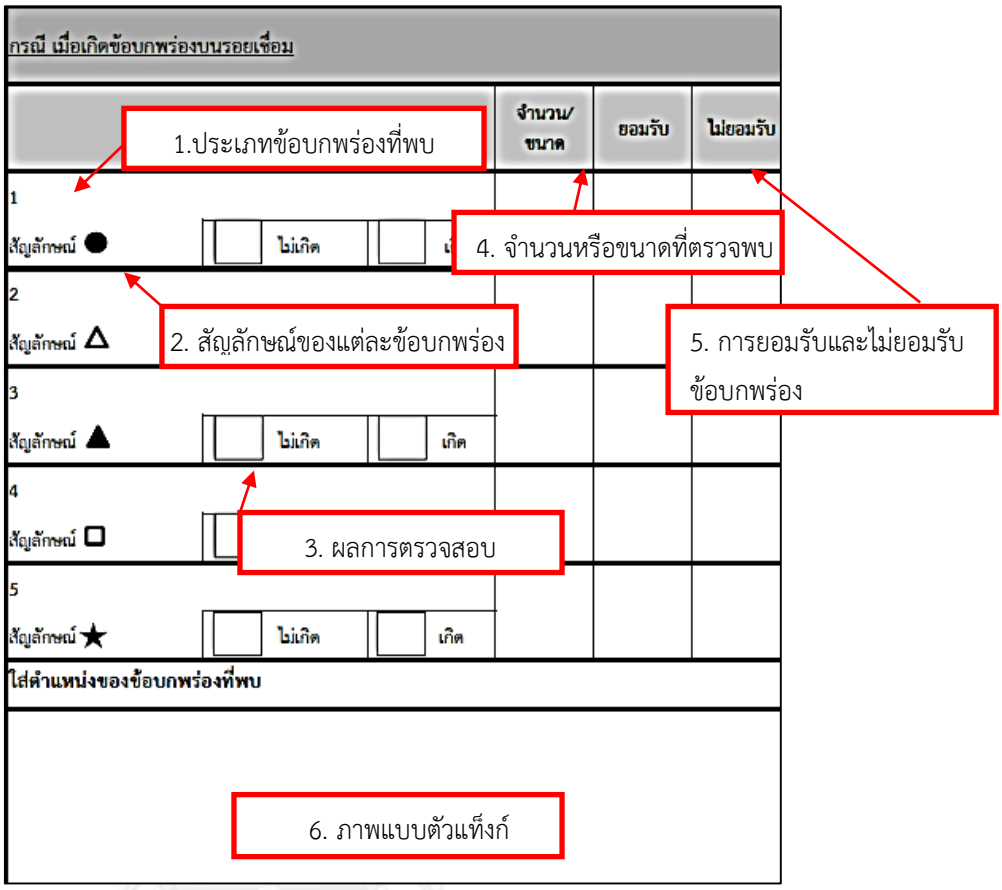


ภาพที่ 6.2 เอกสารการตรวจสอบการทำงานของช่างเชื่อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และจัดทำแบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะด้วยสายตา (W-Check-02) โดยในแบบตรวจสอบมีส่วนประกอบ ดังนี้ (1) ประเภทของข้อบกพร่องที่พบ เป็นข้อบกพร่องจากงานเชื่อมที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตาซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ปรากฏอยู่บนผิวของแนวเชื่อม (2) สัญลักษณ์ของแต่ละข้อบกพร่อง เป็นการกำหนดสัญลักษณ์ขึ้นมาเพื่อให้ง่ายสำหรับการบันทึกข้อมูลข้อบกพร่องที่พบบนตำแหน่งของแท็งก์ (3) ผลการตรวจสอบ (4) จำนวนหรือขนาดของข้อบกพร่องที่พบ มีผลต่อการตัดสินใจในการยอมรับ (คือไม่ต้องซ่อมแซมหรือแก้ไขรอยเชื่อม) หรือไม่ยอมรับ (คือต้องทำการซ่อมแซมหรือแก้ไขรอยเชื่อม) (5) การยอมรับหรือไม่ยอมรับข้อบกพร่อง เป็นการตัดสินใจโดยผู้ตรวจสอบ (พนักงาน QC) โดยจะมีการกำหนดเกณฑ์สำหรับการตรวจสอบเพื่อใช้ในการตัดสินใจยอมรับหรือไม่ยอมรับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เกณฑ์ที่ใช้ในการตรวจสอบอ้างอิงจากมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งอเมริกา (American Society of Mechanical Engineers, ASME), มาตรฐานสมาคมการเชื่อมแห่งอเมริกา (American Welding Society, AWS) และมาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (มยผ. 1561-51 ถึง มยผ. 1565-51) และ (6) รูปภาพตัวแท็งก์ สำหรับการใส่ตำแหน่งของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบอีกครั้งภายหลังการซ่อมแซมแก้ไขรอยเชื่อม และเป็นข้อมูลสำคัญที่ควรมีการบันทึกเก็บไว้ แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มการตรวจสอบส่วนที่ 2 ดังภาพที่ 6.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ภาพที่ 6.3 เอกสารการตรวจสอบลักษณะข้อบกพร่องด้วยสายตา แบบฟอร์มการตรวจสอบส่วนที่ 2

หลังจากทำการจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมด้วยสายตาแล้ว นำแบบตรวจสอบไปทดลองใช้ เพื่อหาจุดผิดพลาด จากนั้นทำการแก้ไขแบบตรวจสอบให้เหมาะสมและสะดวกต่อการใช้งาน ผลการจัดทำแบบตรวจสอบ แสดงดังตารางที่ 6.22 สำหรับแบบตรวจ W-Check-01 และตารางที่ 6.23 สำหรับแบบตรวจสอบ W-Check-02

ตารางที่ 6.22 แบบตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม (W-Check-01)

เอกสารหมายเลข W-Check-01			
แบบตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม **สำหรับงานเชื่อมโลหะ**			
ตรวจสอบเวลา :.....	วัน/เดือน/ปี :.....		Tank No.
ตรวจสอบครั้งที่	ชั้นตอน.....		ช่วงการตรวจสอบ ☐ ก่อนการเชื่อม ☐ ระหว่างการเชื่อม ☐ หลังการเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ :..... ตำแหน่ง :	ผู้ปฏิบัติงาน : ..... ตำแหน่ง :		

การตรวจสอบก่อนทำการเชื่อม	**ผ่าน**	**ไม่ผ่าน**	**รายละเอียด/ สาเหตุที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ**
ช่างเชื่อม แต่งกายเหมาะสมและพร้อมสำหรับการทำงานเชื่อม			
เครื่องมือ วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน			
มีการเตรียมเครื่องมือและลวดเชื่อม เป็นไปตามข้อกำหนดของกระบวนการเชื่อม (WPS)			
เครื่องเชื่อม มีการปรับตั้งค่าต่างๆ อย่างถูกต้อง			
มีการพิจารณาการเลือกใช้ประเภทการเชื่อม (TIG หรือ MIG) ก่อนทำการเชื่อม			
มีการตรวจสอบการเตรียมรอยต่อชิ้นงานก่อนการเชื่อมโดย QC			
การตรวจสอบขณะทำการเชื่อม	**ผ่าน**	**ไม่ผ่าน**	**รายละเอียด/ สาเหตุที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ**
ช่างเชื่อม จัดท่าทาง ตำแหน่งและมุมเชื่อมได้ถูกต้อง			
ช่างเชื่อม ใช้ความเร็วในการเดินหัวเชื่อมเหมาะสม			
ช่างเชื่อม สามารถเคลื่อนที่หัวเชื่อมในทิศทางการเชื่อมที่เหมาะสม			
ช่างเชื่อม เติมลวดเชื่อมได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม			
ช่างเชื่อม สามารถเชื่อมงานได้ถูกต้องตามข้อกำหนดของกระบวนการเชื่อม (WPS)			
การตรวจสอบหลังทำการเชื่อม	**ผ่าน**	**ไม่ผ่าน**	**รายละเอียด/ สาเหตุที่ไม่ผ่านการตรวจสอบ**
มีการทำความสะอาดรอยเชื่อมด้วยลวดขัด			
ผิวของแนวเชื่อมมีลักษณะเรียบและเป็นมันลื่น			
ความกว้างของแนวเชื่อมมีขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ			
เกร็ดของรอยเชื่อมมีขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ ไม่เป็นร่อง			

ตารางที่ 6.23 แบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา (W-Check-02)

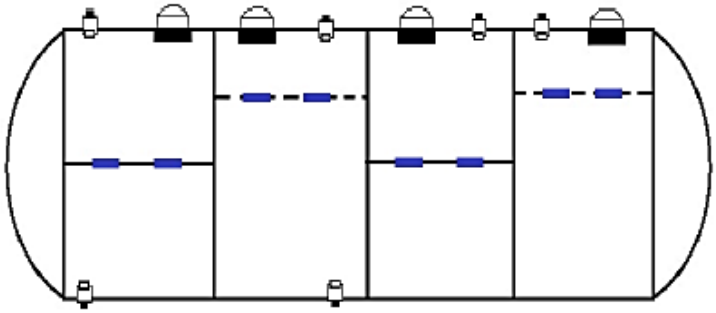
เอกสารหมายเลข W-Check-02

แบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา

ตรวจสอบเวลา :.....	วัน/เดือน/ปี :.....	Tank No.
ตรวจสอบครั้งที่	ขั้นตอน.....	ช่วงการตรวจสอบ
		☐ ก่อนการเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ :.....	ผู้ปฏิบัติงาน :	☐ ระหว่างการเชื่อม
ตำแหน่ง :	ตำแหน่ง :	☐ หลังการเชื่อม

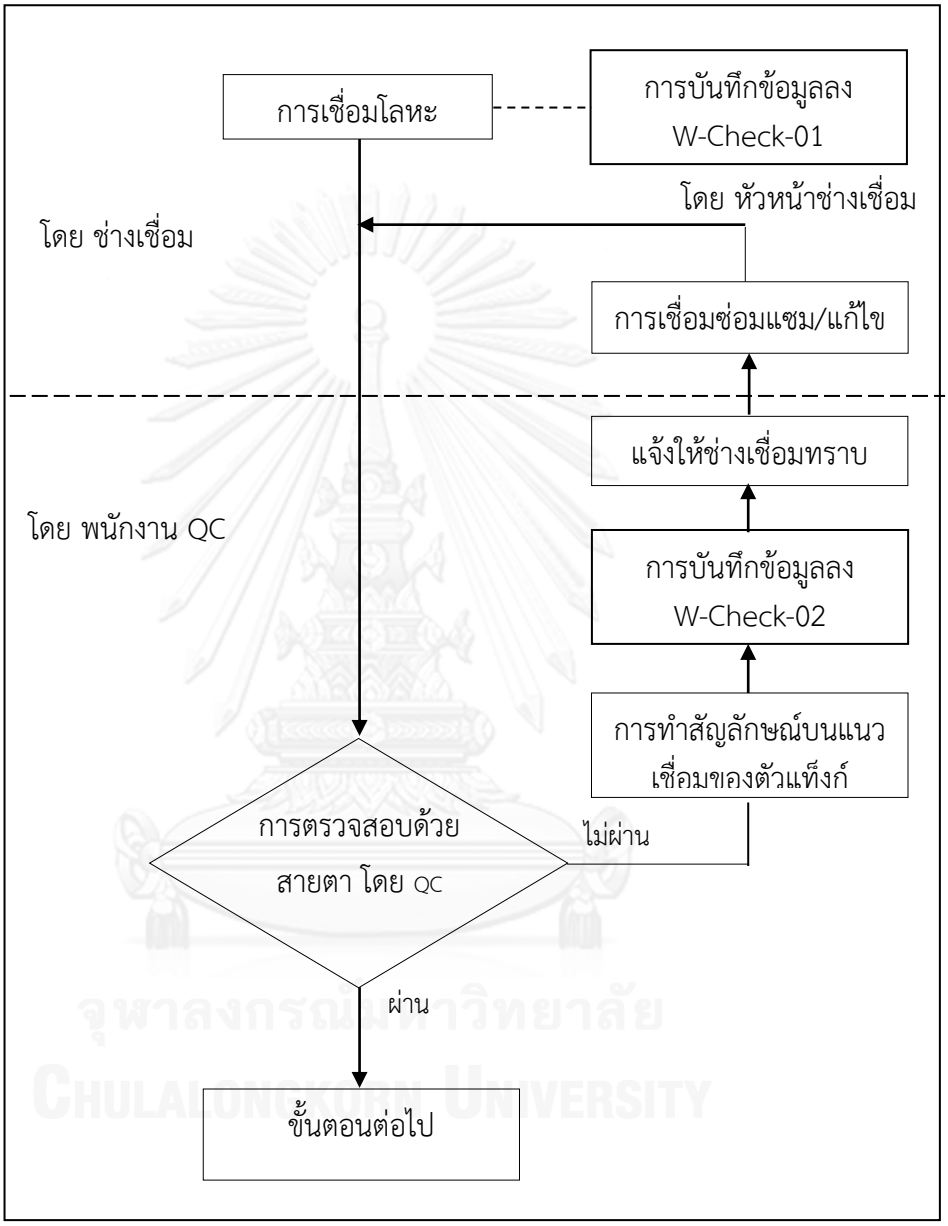
ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลการตรวจสอบ		จำนวน	รายละเอียด ยอมรับ/ไม่ยอมรับ
1. รอยแตก/ร้าว				
สัญลักษณ์ ●	☐ ไม่เกิด	☐ เกิด		
2. รอยหัดแหว่ง				
สัญลักษณ์ △	☐ ไม่เกิด	☐ เกิด		
3. รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด				
สัญลักษณ์ ▲	☐ ไม่เกิด	☐ เกิด		
4. รอยบุน				
สัญลักษณ์ □	☐ ไม่เกิด	☐ เกิด		
5. รอยเชื่อมไม่เต็ม/เว้า				
สัญลักษณ์ ★	☐ ไม่เกิด	☐ เกิด		

ใส่ตำแหน่งของข้อบกพร่องที่พบ



นอกจากนี้ ทำการรวบรวมมาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา เพื่อจัดทำเป็นมาตรฐานวิธีการตรวจสอบแนวเชื่อม (W-WI-01) ในภาคผนวก จ เพื่อให้พนักงาน QC ผู้ตรวจสอบใช้เป็นมาตรฐานหรือเกณฑ์ในการตัดสินใจ ว่าข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นนั้นสามารถยอมรับได้หรือไม่ สำหรับแบบตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อมและการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตาทั้ง 2 ฉบับ จะนำมาใช้ในขั้นตอนการสุ่มตรวจคุณภาพแนวเชื่อมของพนักงาน QC โดยขั้นตอนการตรวจสอบยัง

เหมือนเดิมแต่เพิ่มขั้นตอนการบันทึกข้อมูลการตรวจสอบ (ขั้นตอนวิธีการตรวจสอบใน W-WI-01) สรุปขั้นตอนการทำงานภายหลังการปรับปรุงคุณภาพได้ดังภาพที่ 6.4

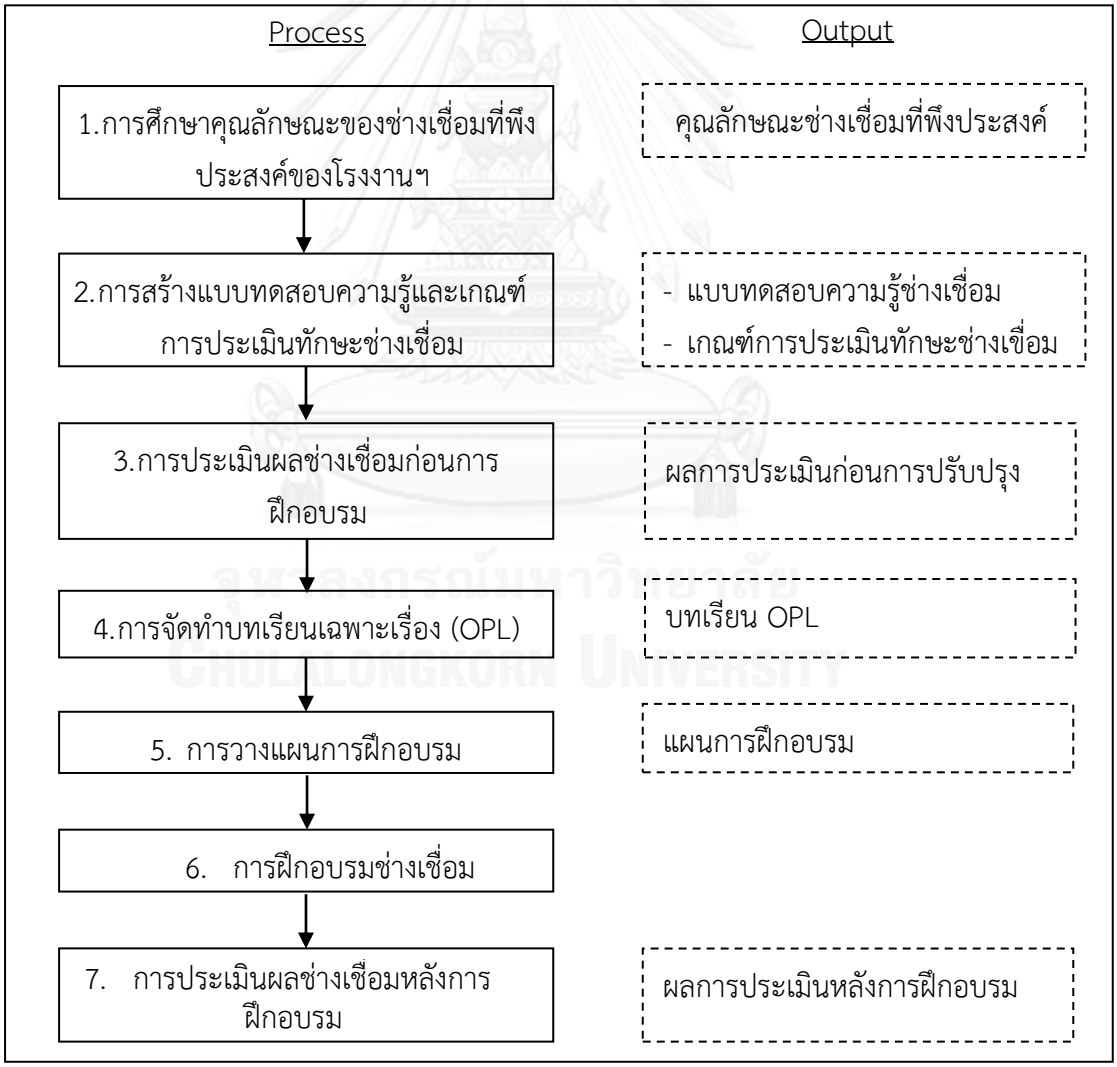


ภาพที่ 6.4 ขั้นตอนการตรวจสอบการเชื่อมโลหะ ภายหลังการปรับปรุงฯ

6.5 การสร้างระบบการฝึกอบรมและพัฒนาประสิทธิภาพช่างเชื่อม

การสร้างระบบการพัฒนาและการฝึกอบรมช่างเชื่อมจัดทำในรูปแบบของตารางทักษะ (skill matrix) มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพในด้านความรู้และด้านทักษะการทำงานของช่างเชื่อมและเพื่อให้ช่างเชื่อมรู้และเข้าใจถึงวิธีการเชื่อมโลหะที่ถูกต้อง ช่วยลดความผิดพลาดจากขั้นตอน

การทำงานในการเชื่อมโลหะลง ซึ่งจะส่งผลให้ปัญหาข้อบกพร่องในงานเชื่อมโลหะลดลงเช่นกัน โดยขั้นตอนในการสร้างตารางทักษะ (skill matrix) เริ่มต้นจากการประชุมกับทีมงานเพื่อสอบถามความต้องการของโรงงานฯ เกี่ยวกับความสามารถของช่างเชื่อมที่โรงงานฯ พึงประสงค์ทั้งในด้านความรู้และทักษะในการเชื่อมโลหะ จากนั้นจัดทำแบบทดสอบความรู้สำหรับการวัดผลความรู้ของช่างเชื่อมและสร้างเกณฑ์สำหรับการประเมินทักษะของช่างเชื่อม แล้วทำการประเมินช่างเชื่อมเพื่อเป็นข้อมูลก่อนการปรับปรุง จากนั้นดำเนินการจัดทำบทเรียนเฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL) ซึ่งเป็นสื่อในการถ่ายทอดความรู้ในระบบการฝึกอบรม พร้อมทั้งวางแผนการฝึกอบรมช่างเชื่อมร่วมกับทีมงานแล้วดำเนินการฝึกอบรมช่างเชื่อม ภายหลังการฝึกอบรมช่างเชื่อมจึงทำการประเมินผลช่างเชื่อมอีกครั้งเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลลัพธ์ภายหลังการปรับปรุง ภาพรวมการสร้างตารางทักษะ (skill matrix) แสดงดังภาพที่ 6.5



ภาพที่ 6.5 ภาพรวมการสร้างตารางทักษะ (skill matrix)

6.5.1 การศึกษาคุณลักษณะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา

ทำการประชุมร่วมกับทีมงานในโรงงานกรณีศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของช่างเชื่อมที่ทางโรงงานฯ ต้องการ โดยเริ่มจากการกำหนดหัวข้อคุณลักษณะช่างเชื่อมโลหะที่พึงประสงค์

ผลจากการประชุมกับทีมงานคือ ทางโรงงานฯ มีความต้องการคุณลักษณะของช่างเชื่อมตามหัวข้อ ดังนี้

1) ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการวางแผนการเตรียมงานเชื่อม
2) ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมประเภทการเชื่อม TIG
3) ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมประเภทการเชื่อม MIG–MAG
4) ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม TIG
5) ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม MIG-MAG

โดยสามารถอธิบายคุณลักษณะของแต่ละหัวข้อได้ดังนี้

- ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการวางแผนการเตรียมงานเชื่อม

ในการวางแผนการเตรียมงานเชื่อมโลหะ เป็นลักษณะที่สำคัญที่ช่างเชื่อมในการผลิตแท็งก์จำเป็นต้องมีความรู้ เนื่องจากความผิดพลาดในการวางแผนการเตรียมงานเชื่อมนั้นมีผลโดยตรงต่อคุณภาพของแท็งก์ การวางแผนการเตรียมงานเชื่อมประกอบด้วย การรู้วิธีการป้องกันอุบัติเหตุ การเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์การเชื่อมได้อย่างถูกต้อง และสามารถอ่านแบบได้ก่อนการปฏิบัติงาน

- ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมในกระบวนการเชื่อม TIG

เนื่องจากกระบวนการเชื่อม TIG เป็นส่วนหนึ่งในการเชื่อมเสื้อแท็งก์ การเชื่อมประกอบแท็งก์และการเชื่อมติดตั้งฝาหน้าและฝาหลัง ทางโรงงานฯ จึงมีความต้องการให้ช่างเชื่อมมีความรู้เกี่ยวด้านการเชื่อม TIG ซึ่งประกอบด้วยความรู้เกี่ยวกับ ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อแบบ TIG และความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม TIG

- ช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมกระบวนการเชื่อม MIG–MAG

เช่นเดียวกันกับช่างเชื่อมต้องมีความรู้ในด้านการเชื่อมในกระบวนการเชื่อม TIG สำหรับความรู้ในด้านการเชื่อม MIG-MAG ช่างเชื่อมควรมีความรู้เกี่ยวกับ ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม ความรู้

เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ MIG-MAG และความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม MIG-MAG

- ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม TIG

การมีทักษะในการเชื่อมที่ถูกต้องและเหมาะสมของช่างเชื่อม จะทำให้การเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะในการผลิตแท็งก์น้อยลง เนื่องจากการขาดทักษะในการเชื่อมเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องจากการวิเคราะห์ในบทที่ 5 นอกจากนี้การมีทักษะในการเชื่อมจะให้การผลิตใช้ระยะเวลาเชื่อมที่เหมาะสมอีกด้วย โดยทักษะที่ช่างเชื่อมควรมีประกอบด้วย การเลือกใช้ปริมาณกระแสไฟที่เหมาะสม การมีเทคนิคในการเชื่อม ได้แก่ เทคนิคในการป้อนเติมลวดเชื่อม เทคนิคการเคลื่อนที่หัวเชื่อม และเทคนิคการใช้ความเร็วในการเชื่อม และการใช้ท่าเชื่อมในการเชื่อมที่เหมาะสม

- ช่างเชื่อมต้องมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม MIG - MAG

การมีทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อม MIG-MAG มีความสำคัญต่อการผลิตแท็งก์เช่นเดียวกันกับการมีทักษะในการเชื่อม TIG โดยทักษะที่ช่างเชื่อมควรมีประกอบด้วย การเลือกใช้ปริมาณกระแสไฟที่เหมาะสม การมีเทคนิคในการเชื่อม ได้แก่ เทคนิคการเคลื่อนที่หัวเชื่อม และเทคนิคการใช้ความเร็วในการเชื่อม และการใช้ท่าเชื่อมในการเชื่อมที่เหมาะสม

สามารถสรุปคุณลักษณะของช่างเชื่อมโลหะที่ทางโรงงานฯ ต้องการได้ดังตารางที่ 6.24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.24 คุณลักษณะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์ของโรงงานกรณีศึกษา

คุณลักษณะของช่างเชื่อมโลหะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์
1. ความรู้ในด้านการวางแผนการเตรียมงานเชื่อม 1.1 การรู้วิธีการป้องกันอุบัติเหตุ 1.2 การเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์การเชื่อมได้ 1.3 การอ่านแบบก่อนการปฏิบัติงานได้
2. ความรู้ในการปฏิบัติงานเชื่อมในกระบวนการเชื่อม TIG 2.1 ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ 2.2 ความรู้ในการเลือกใช้ท่าเชื่อม 2.3 ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม 2.4 ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ TIG 2.5 ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม TIG
3. ความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมกระบวนการเชื่อม MIG–MAG 3.1 ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ 3.2 ความรู้ในการเลือกใช้ท่าเชื่อม 3.3 ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม 3.4 ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ MIG-MAG 3.5 ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม MIG-MAG
4. ทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม TIG 4.1 การเลือกใช้ปริมาณกระแสไฟที่เหมาะสม 4.2 การมีเทคนิคในการเชื่อม ได้แก่ เทคนิคในการป้อนเติมลวดเชื่อม เทคนิคการเคลื่อนที่หัวเชื่อมและเทคนิคการใช้ความเร็วในการเชื่อม 4.3 การใช้ท่าเชื่อมในการเชื่อมที่เหมาะสม
5. ทักษะในการปฏิบัติงานเชื่อมการเชื่อม MIG - MAG 5.1 การเลือกใช้ปริมาณกระแสไฟที่เหมาะสม 5.2 การมีเทคนิคในการเชื่อม ได้แก่ เทคนิคการเคลื่อนที่หัวเชื่อม และเทคนิคการใช้ความเร็วในการเชื่อม 5.3 การใช้ท่าเชื่อมในการเชื่อมที่เหมาะสม

6.5.2 การสร้างแบบทดสอบด้านความรู้และเกณฑ์การประเมินทักษะการทำงาน

1) แบบทดสอบด้านความรู้ช่างเชื่อม

หลังจากรวบรวมข้อมูลคุณลักษณะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์ นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป็นคำถามในแบบทดสอบสำหรับการประเมิน

ความรู้ของช่างเชื่อม โดยขั้นตอนในการสร้างแบบทดสอบเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโลหะทั้งแบบ TIG และ MIG-MAG การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการเชื่อมโลหะ จากนั้นรวบรวมข้อมูลสำหรับจัดทำแบบทดสอบทั้งหมด 20 ข้อ (แสดงในภาคผนวก ฉ) เป็นข้อสอบประเภทผิด-ถูก นำแบบทดสอบไปให้ผู้เชี่ยวชาญในด้านการเชื่อมโลหะทำการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของแบบทดสอบ แล้วนำแบบทดสอบเสนอกับทีมงานในโรงงานฯ ทำการวิเคราะห์และผ่านความเห็นชอบ โดยความสัมพันธ์ของคำถามในแบบทดสอบและคุณลักษณะของช่างเชื่อมที่โรงงานฯ พึงประสงค์ในด้านความรู้แสดงดังตารางที่ 6.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแบบทดสอบและคุณลักษณะด้านความรู้ของช่างเชื่อม

คุณลักษณะของช่างเชื่อมโลหะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์	ลำดับข้อ ในแบบทดสอบ																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ความรู้ในด้านการวางแผนการเตรียมงานเชื่อม																				
การรู้วิธีการป้องกันอุบัติเหตุ			✓							✓										
การเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์การเชื่อมได้อย่างถูกต้อง				✓	✓	✓	✓												✓	
ความสามารถในการอ่านแบบก่อนการปฏิบัติงาน													✓	✓	✓					
ความรู้ในการปฏิบัติงานเชื่อมในกระบวนการเชื่อม TIG																				
ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ								✓												
ความรู้ในการเลือกใช้ท่าเชื่อมที่ถูกต้อง					✓															
ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม				✓																
ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อแบบ TIG	✓	✓																		✓
ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม TIG									✓							✓	✓			
ความรู้ในด้านการปฏิบัติงานเชื่อมกระบวนการเชื่อม MIG–MAG																				
ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ											✓									
ความรู้ในการเลือกใช้ท่าเชื่อมที่ถูกต้อง					✓															
ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม				✓																
ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ MIG-MAG												✓						✓		✓
ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม MIG-MAG									✓								✓	✓		

2) เกณฑ์สำหรับประเมินทักษะช่างเชื่อม

กำหนดเกณฑ์สำหรับใช้ในการประเมินช่างเชื่อมสำหรับโรงงานกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการแบ่งกลุ่มช่างเชื่อมโลหะแล้วจัดระดับของช่างเชื่อมเพื่อให้ง่ายสำหรับการฝึกอบรมเพื่อการพัฒนาทักษะในการเชื่อมโลหะ โดยทำการแบ่งกลุ่มช่างเชื่อมโลหะตามการได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม (Welder Qualification Test, WQT) และกลุ่มที่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม

สำหรับกลุ่มที่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้เกณฑ์ความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้แก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆ หรือความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ แบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือกลุ่มช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อมและมีความสามารถในการสอนงานช่างเชื่อมคนอื่นๆ และกลุ่มช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อมแต่ไม่สามารถสอนงานแก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆ ได้

กลุ่มที่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ คือ ช่างเชื่อมได้ผ่านการฝึกอบรมแล้วผลการประเมินการทำงานอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถทำงานได้ค่อนข้างดี และ ช่างเชื่อมที่ยังไม่เคยผ่านการฝึกอบรม การทำงานต้องอยู่ภายใต้การดูแลของหัวหน้างาน สรุปเกณฑ์การประเมินช่างเชื่อมทั้ง 4 ระดับ ดังตารางที่ 6.26

ตารางที่ 6.26 เกณฑ์ประเมินระดับทักษะช่างเชื่อม

ระดับทักษะ	การรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม	การประเมินผลการทำงาน	ความสามารถในการถ่ายทอดความรู้
ระดับ 1	ไม่ได้รับการรับรอง	ไม่สามารถปฏิบัติการเชื่อมได้โดยลำพัง ต้องอยู่ภายใต้การดูแลของหัวหน้างาน	
ระดับ 2		ทำงานได้ค่อนข้างดี สามารถปฏิบัติการเชื่อมได้โดยลำพัง	
ระดับ 3	ได้รับการรับรอง		ไม่สามารถสอนงานแก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆ ได้
ระดับ 4			สามารถสอนงานแก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆได้

6.5.3 การสร้างสื่อความรู้บทเรียนเฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL)

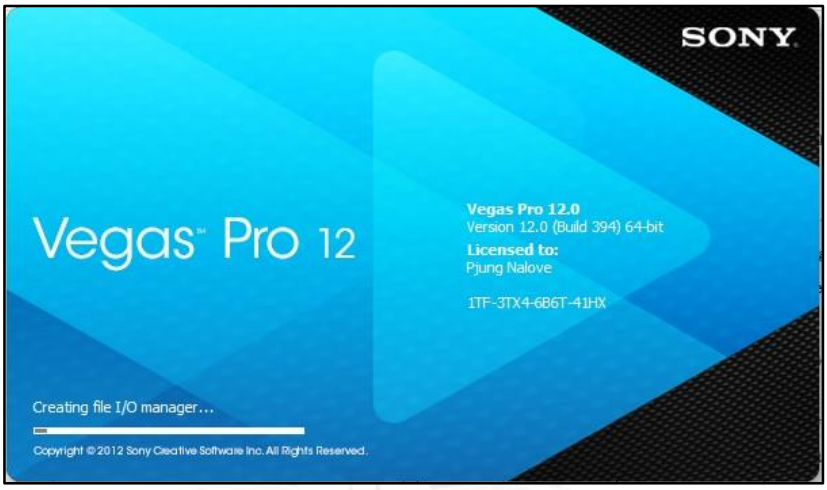
สื่อความรู้ที่เลือกใช้ในการฝึกอบรมช่างเชื่อม ได้แก่ บทเรียนเฉพาะเรื่อง (One Point Lesson, OPL) เนื่องจากมีความตรงประเด็นกับเนื้อหาที่จะอบรม อีกทั้งยังมีความสั้นและกระชับ ในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ ช่างเชื่อมถือเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของการเชื่อมโลหะ จึงให้ความสำคัญด้านประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อม โดยวิธีที่ได้ผลที่สุดสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อม คือ การฝึกอบรมช่างเชื่อม จึงออกแบบและพัฒนาระบบการฝึกอบรมช่างเชื่อม โดยสร้างบทเรียน OPL ที่สร้างขึ้นจะอยู่ในรูปแบบของวีดิทัศน์และแผ่นภาพ เนื้อหาในบทเรียน OPL เป็นความรู้ในด้านคุณภาพและการเตรียมการเชื่อมโลหะ และด้านเทคนิคในการเชื่อมโลหะ ภายหลังจากทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องในงานเชื่อม แล้วนำสาเหตุมากำหนดเป็นหัวข้อในบทเรียน OPL แล้วจึงดำเนินการสร้างบทเรียน OPL

1) การกำหนดหัวข้อ OPL

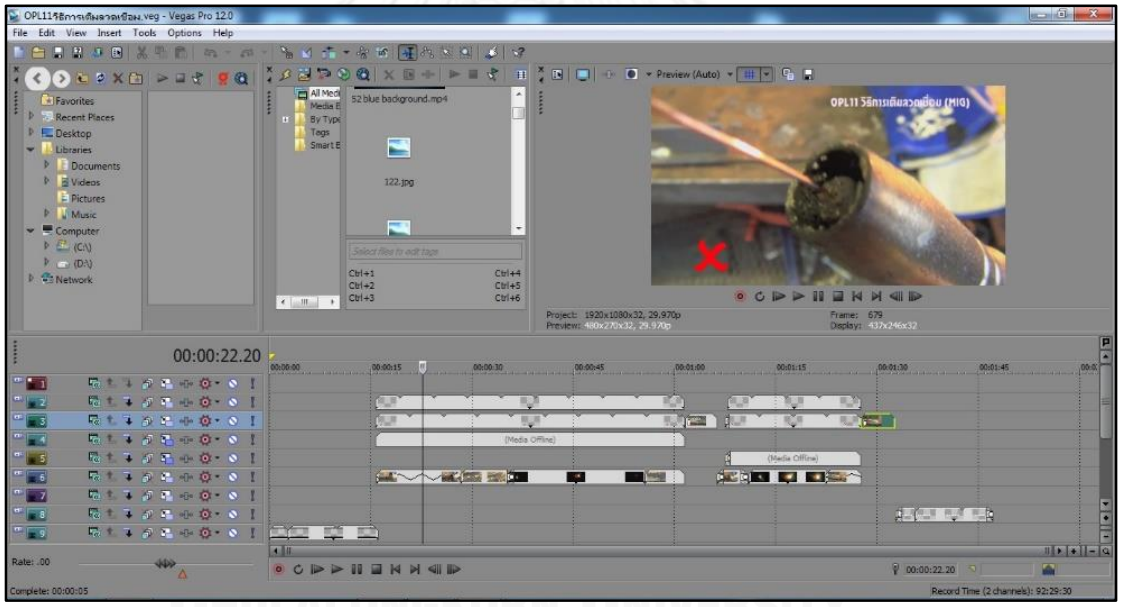
2) การสืบค้นสืบค้นวีดิทัศน์และรูปภาพ ที่มีเนื้อหาตรงประเด็นกับสาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง จากสื่อออนไลน์ที่มีการเผยแพร่ความรู้ทางด้านการเชื่อมโลหะออกสู่สาธารณะ โดยสื่อออนไลน์ที่ใช้สำหรับการจัดทำบทเรียน OPL ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ www.weldingtipsandtricks.com www.millerwelds.com และ www.mig-welding.co.uk

3) การดำเนินการคัดเลือกเนื้อหาในวีดิทัศน์เพื่อให้เนื้อหาตรงตามประเด็นสำคัญสำหรับบทเรียน OPL และเนื้อหาในวีดิทัศน์ต้องมีความสอดคล้องกับทฤษฎีการเชื่อมโลหะ

4) การตัดต่อวีดิทัศน์ตามที่ได้คัดเลือกเนื้อหาไว้ในข้อ 2 โดยใช้โปรแกรม Sony Vegas Pro 12 สำหรับโปรแกรมนี้ เป็นโปรแกรมตัดต่อวีดิทัศน์ที่ได้รับความนิยมและการยอมรับ เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่มีคุณภาพ สามารถใช้ในการรวมไฟล์วีดิทัศน์เข้าด้วยกัน หรือการตัดไฟล์วีดิทัศน์ที่ไม่ต้องการออกได้ อีกทั้งยังสามารถใส่ลูกเล่นต่างๆ เข้ากับตัววีดิทัศน์ได้ โดยแสดงตัวอย่างโปรแกรม Sony Vegas Pro 12 ดังภาพที่ 6.6 และ ภาพที่ 6.7



ภาพที่ 6.6 หน้าต่างแรกของโปรแกรม



ภาพที่ 6.7 หน้าต่างของโปรแกรมขณะเปิดใช้งาน

5) การจัดทำเอกสารคำอธิบายประกอบบทเรียน OPL โดยเนื้อหาในเอกสารประกอบด้วย

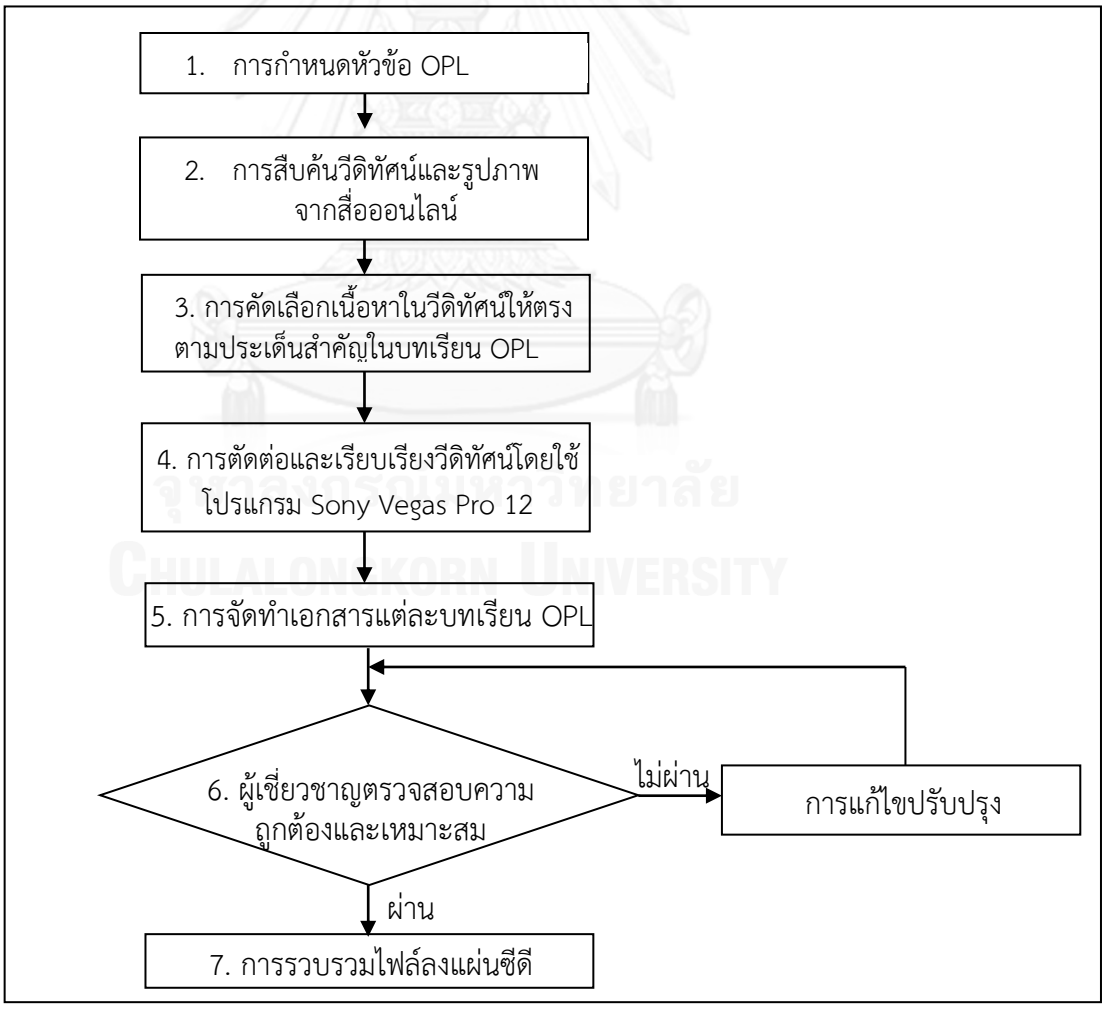
- ชื่อบทเรียน OPL
- ระดับทักษะของช่างเชื่อมที่เข้าฝึกอบรม (ประกอบด้วยระดับทักษะขั้นพื้นฐานหรือขั้นสูง)
- ประเภทของบทเรียน OPL (ประกอบด้วยวีดิทัศน์หรือแผ่นภาพ)
- ความสำคัญของเนื้อหา

- ประเด็นสำคัญ (โดยเนื้อหาในหัวข้อนี้ จะสอดคล้องกับเนื้อหาในวีดิทัศน์)
- รูปภาพประกอบ
- แหล่งอ้างอิง

6) การตรวจสอบความถูกต้องและเหมาะสมของวีดิทัศน์และเนื้อหาในเอกสารประกอบบทเรียน OPL โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการเชื่อมโลหะ และทำการปรับปรุงแก้ไขเนื้อหาในบทเรียน OPL ตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นนำบทเรียน OPL ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบอีกครั้ง จนกว่าเนื้อหาในบทเรียน OPL จะมีความถูกต้องและเหมาะสม

7) การรวบรวมไฟล์วีดิทัศน์บทเรียน OPL และเอกสารประกอบ OPL เพื่อจัดทำเป็นบทเรียน OPL สมบูรณ์ลงในแผ่นซีดี

ภาพรวมของขั้นตอนการสร้างบทเรียน OPL แสดงดังภาพที่ 6.8



ภาพที่ 6.8 ภาพรวมขั้นตอนการสร้างบทเรียน OPL

บทเรียน OPL ที่จัดทำในงานวิจัยนี้ มี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบของวีดิทัศน์และรูปแบบของแผ่นภาพ สำหรับรูปแบบของวีดิทัศน์จะเกี่ยวข้องกับเทคนิคการเชื่อม โดยแสดงท่าทางการเชื่อมแบบภาพเคลื่อนไหวเพื่อให้ช่างเชื่อมโลหะเกิดการเรียนรู้และปฏิบัติตาม แต่ละบทเรียน OPL มีความยาวไม่เกิน 5 นาที อีกรูปแบบคือ แผ่นภาพ แสดงจุดสำคัญที่ช่างเชื่อมโลหะจะต้องทำการตรวจสอบหรือต้องให้ความระมัดระวังและการเปรียบเทียบลักษณะของแนวเชื่อม ซึ่งเกิดจากการเลือกใช้ปัจจัยในการเชื่อมที่เหมาะสมและไม่เหมาะสม

เนื่องจากเกิดปัญหาข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ เป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยสายตาเนื่องจากเกิดขึ้นในเนื้อเชื่อม ซึ่งจะสามารถตรวจพบได้จากการตรวจสอบ NDT เท่านั้น จากสถิติการเกิดข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ พบว่าเกิดจาก 4 สาเหตุ คือ การเกิดรูพรุน รอยแตก รอยเชื่อมไม่เต็ม และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องดังกล่าว

1) รูพรุน (porosity)

รูพรุน (อาจเรียกว่าตามด หรือฟองอากาศ) เป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นภายในเนื้อของแนวเชื่อมหรือบนผิวของแนวเชื่อม ลักษณะของข้อบกพร่องรูพรุนมีหลายรูปแบบ ได้แก่ ลักษณะเป็นทรงกลม หรือทรงกระบอก ลักษณะการเกิดมีทั้งการกระจายตัว การเกาะกันเป็นกลุ่ม หรือการเรียงกันเป็นเส้น เป็นต้น สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องรูพรุนมีหลายสาเหตุ ได้แก่ ความสกปรกบนพื้นผิวของแผ่นโลหะจากคราบน้ำมัน สนิม ฝุ่นละอองหรือความชื้น การปรับกระแสไฟเชื่อมที่สูงเกินไป การใช้ระยะอาร์กที่ห่างเกินไป ทำให้สูญเสียธาตุที่ทำหน้าที่ปกป้องออกซิเจนเป็นปริมาณมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) รอยแตก (crack)

รอยแตกเป็นข้อบกพร่องที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในเนื้อแนวเชื่อมและบนผิวของแนวเชื่อม โดยรอยแตกมีสาเหตุมาจากแผ่นโลหะได้รับความเค้นสูงเกินกว่าจุดความแข็งแรงของวัตถุหรือแผ่นโลหะ (ultimate strength) ความเค้นอาจเกิดขึ้นในแนวเชื่อมหรือในแผ่นโลหะหรือในบางครั้งอาจเกิดการเกิดรอยบากจากการออกแบบแนวเชื่อมที่ผิดพลาดก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความเค้นในแนวเชื่อมเช่นกัน สำหรับรอยแตกจากการเชื่อมโลหะสามารถพบได้ 2 ประเภท คือ รอยแตกร้อนและรอยแตกเย็น สำหรับในรอยแตกในเนื้อของแนวเชื่อม เป็นรอยแตกประเภทรอยแตกร้อนมีสาเหตุมาจากการใช้กระแสไฟเชื่อมที่สูงเกินไป การเตรียมรอยต่อ

ของแผ่นโลหะไม่เหมาะสมคือการบากร่องแผ่นโลหะขนาดเล็กหรือแคบเกินไป เป็นต้น3) รอยเชื่อมไม่เต็ม (underfill)

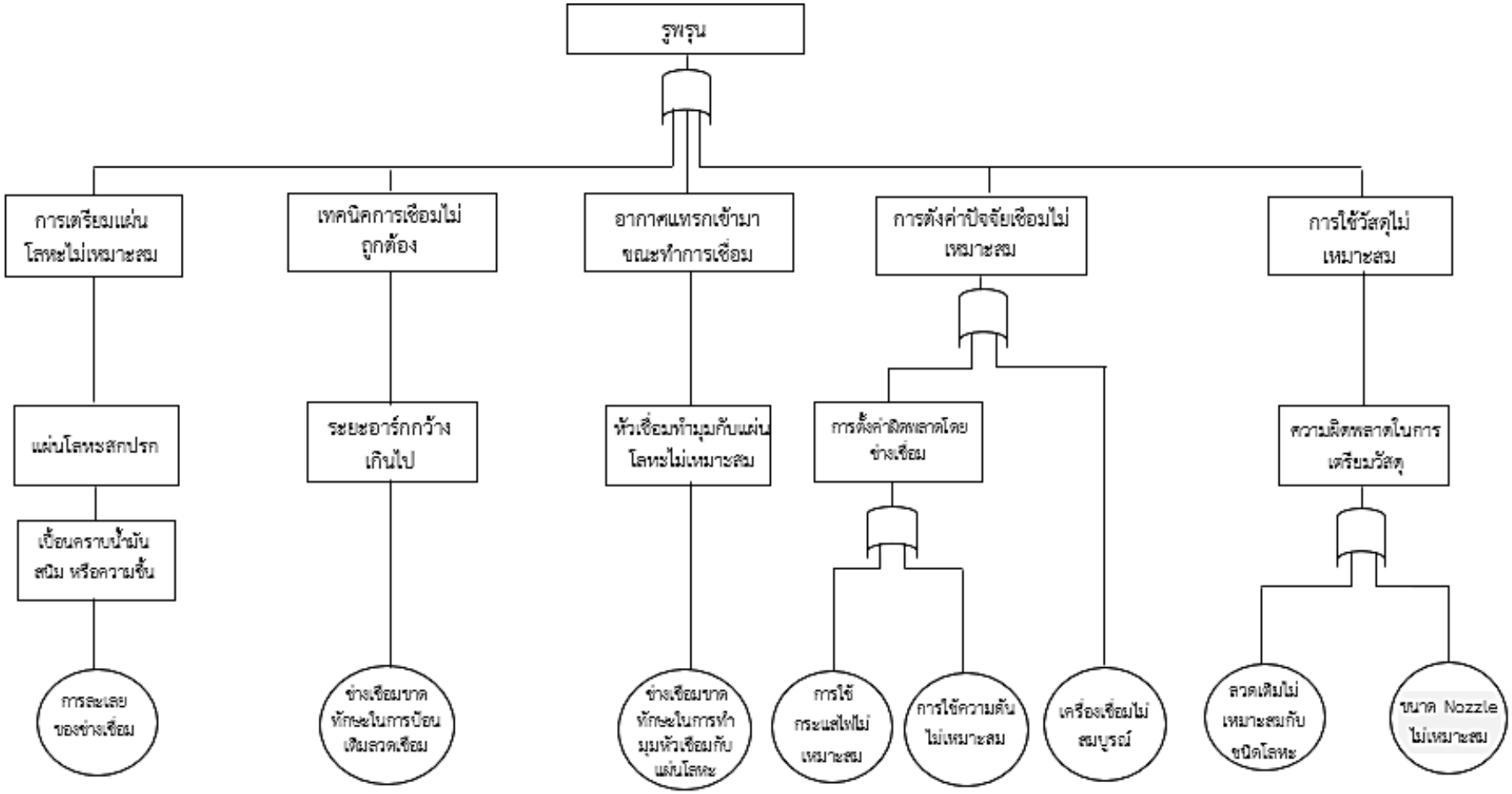
รอยเชื่อมไม่เต็มเป็นข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในเนื้อแนวเชื่อมและบนผิวหน้าของแนวเชื่อมได้เช่นเดียวกับรอยแตก สำหรับการเกิดรอยเชื่อมไม่เต็มในเนื้อแนวเชื่อม มีสาเหตุมาจากการเตรียมรอยต่อแผ่นโลหะที่ไม่เหมาะสม คือการบากร่องขนาดเล็กหรือแคบเกินไป มุมของการบากร่องระหว่างแผ่นโลหะทั้ง 2 แผ่นมีขนาดเล็กเกินไป นอกจากนี้รอยเชื่อมไม่เต็มอาจเกิดได้จากการใช้กระแสไฟในการเชื่อมที่ต่ำเกินไปและระยะที่ใช้ในการอาร์กระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะกว้างเกินไป

4) การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (incomplete penetration)

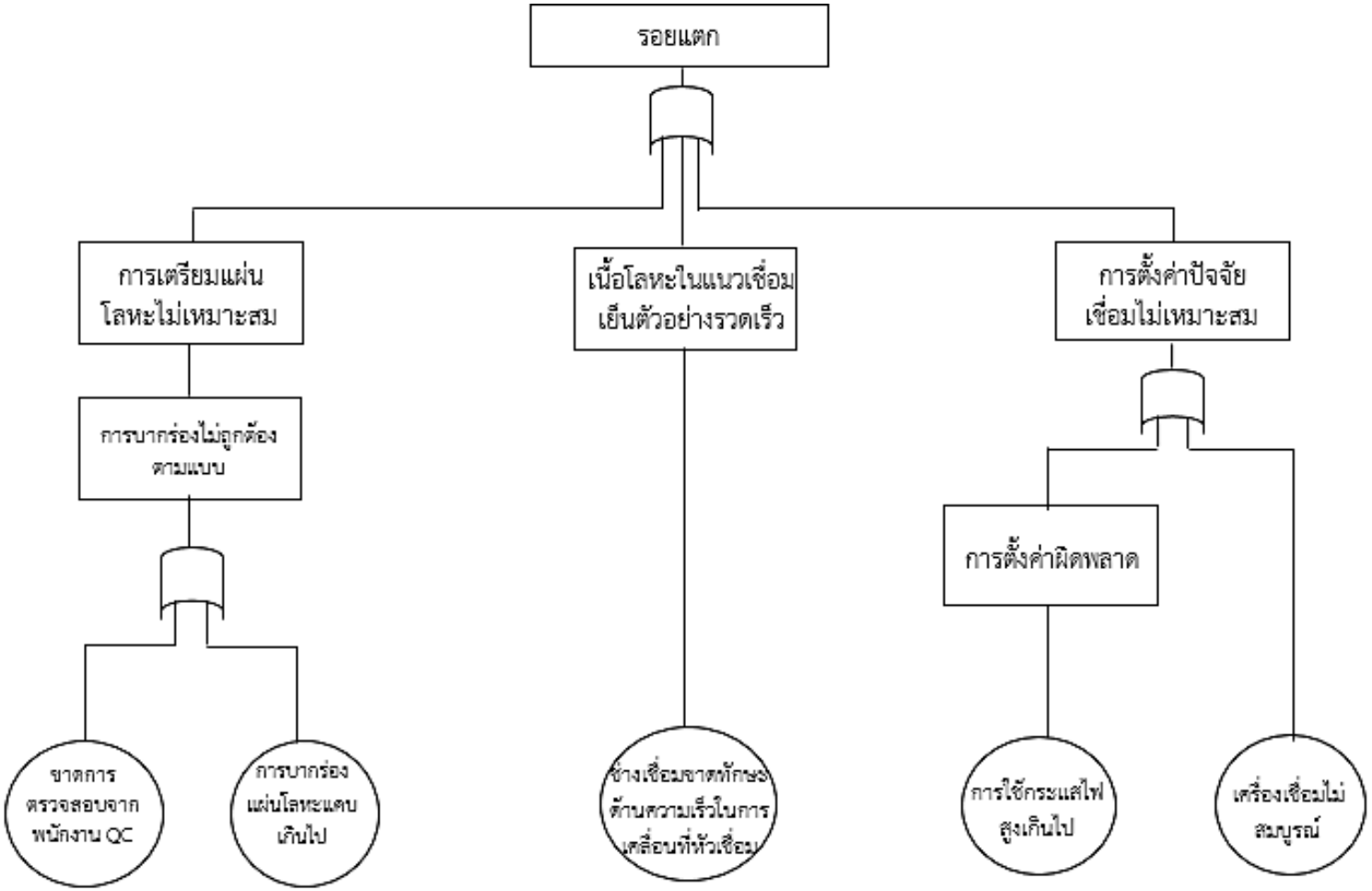
การหลอมละลายไม่สมบูรณ์เป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากการซึมลึกของเนื้อโลหะจากลวดเชื่อมไม่เพียงพอต่อการเติมเต็มในช่วงว่างของรอยต่อของแผ่นโลหะทำให้การหลอมละลายไม่เชื่อมติดกันอย่างสมบูรณ์ระหว่าง 2 แผ่นโลหะ โดยการซึมลึกที่ไม่เพียงพอหรือไม่สมบูรณ์นั้นมีสาเหตุมาจากการออกแบบรอยต่อที่ไม่เหมาะสม คือการบากร่องแผ่นโลหะที่มีขนาดเล็กหรือแคบเกินไป การใช้กระแสไฟเชื่อมปริมาณต่ำเกินไปทำให้เนื้อโลหะหลอมละลายไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้การเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่ไม่เหมาะสม (เคลื่อนที่เร็วหรือช้าเกินไป) หรือระยะอาร์กของหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะที่กว้างเกินไปก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องการหลอมละลายไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกัน

ทำการวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (Fault Tree Analysis, FTA) ของปัจจัยทั้ง 4 ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ แสดงดังภาพที่ 6.9

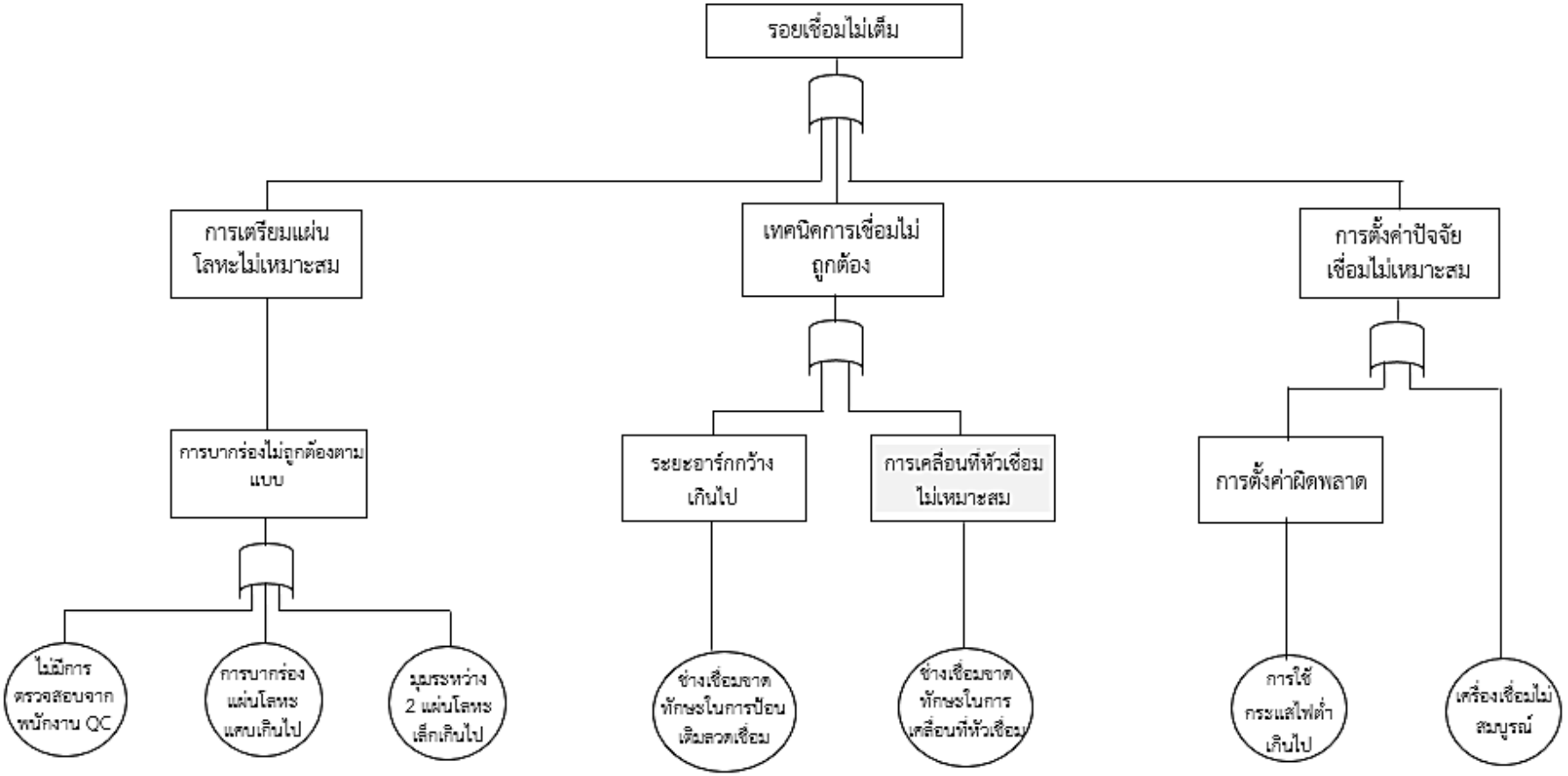
Chulalongkorn University



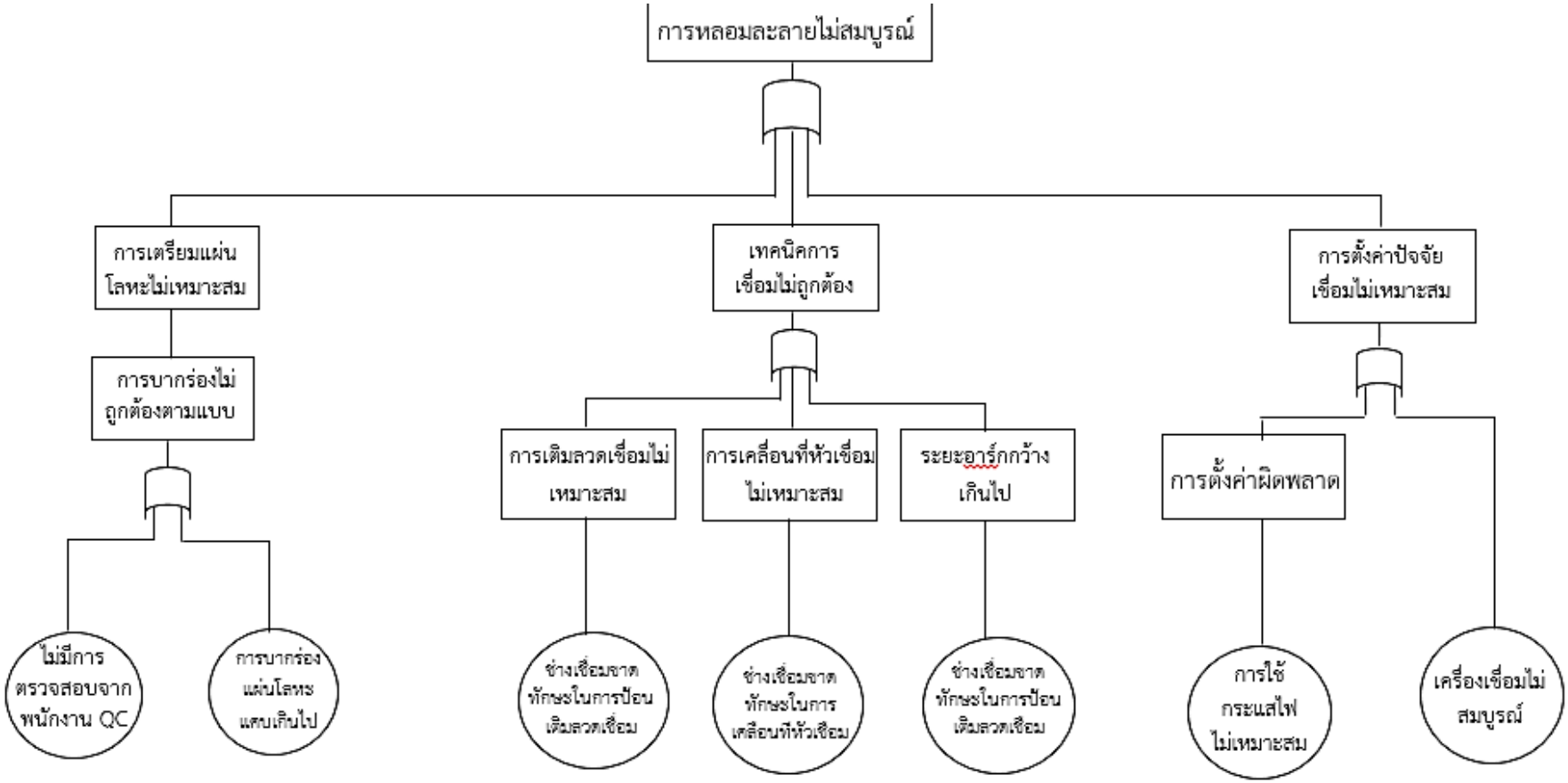
ภาพที่ 6.9 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง



ภาพที่ 6.9 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (ต่อ)



ภาพที่ 6.9 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (ต่อ)



ภาพที่ 6.9 การวิเคราะห์แขนงความบกพร่อง (ต่อ)

หลังจากทำการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องด้วยวิธีการวิเคราะห์แขนงความบกพร่องของข้อบกพร่องทั้ง 4 ประเภท คือ รูพรุน รอยแตก รอยเชื่อมไม่เต็ม และการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ สามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องได้ดังตารางที่ 6.27

ตารางที่ 6.27 สรุปสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องทั้ง 4 ประเภท

ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง
1.รูพรุน	การละเลยการทำความสะอาด
	ช่างเชื่อมขาดทักษะในการป้อนเติมลวดเชื่อม
	ช่างเชื่อมขาดทักษะในการทำมุมหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ
	การใช้กระแสไฟไม่เหมาะสม
	การใช้ค่าแรงดันไม่เหมาะสม
	เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์
	ลวดเติมไม่เหมาะสมกับชนิดของโลหะ
	ขนาด Nozzle หัวเชื่อมไม่เหมาะสม
2.รอยแตก	ขาดการตรวจสอบจากพนักงาน QC
	การบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป
	ช่างเชื่อมขาดทักษะด้านความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม
	ช่างเชื่อมเลือกใช้กระบวนการเชื่อมไม่เหมาะสม
	การใช้กระแสไฟเชื่อมไม่เหมาะสม
	เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์
3.รอยเชื่อมไม่เต็ม	ขาดการตรวจสอบจากพนักงาน QC
	การบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป
	มุมระหว่าง 2 แผ่นโลหะเล็กเกินไป
	ช่างเชื่อมขาดทักษะในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม
	การใช้กระแสไฟไม่เหมาะสม
	เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์
4.การหลอมละลายไม่สมบูรณ์	ขาดการตรวจสอบจากพนักงาน QC
	การบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป
	ช่างเชื่อมขาดทักษะในการป้อนเติมลวดเชื่อม
	ช่างเชื่อมขาดทักษะในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม
	การใช้กระแสไฟไม่เหมาะสม
	เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์

จากตารางที่ 6.27 สามารถวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องได้ทั้งหมด 14 สาเหตุ และทำการจัดเป็นหมวดหมู่ของกลุ่มสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม ได้แก่

1) สาเหตุจากการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม
2) สาเหตุจากการเตรียมงานเชื่อม
3) สาเหตุจากการตั้งค่าปัจจัยของเครื่องเชื่อมโลหะ
4) สาเหตุจากการตรวจสอบการทำงาน

ตารางที่ 6.28 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่แท้จริงและปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ

สาเหตุ	ลักษณะข้อบกพร่อง			
	รูพรุน	รอยแตก	รอยเชื่อมไม่เต็ม	การหลอมละลายไม่สมบูรณ์
สาเหตุจากการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม				
1. การละเลยการทำความสะอาด	✓			
2. ช่างเชื่อมขาดทักษะในการป้อนเติมลวดเชื่อม	✓		✓	✓
3. ช่างเชื่อมขาดทักษะในการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ	✓			
4. ช่างเชื่อมขาดทักษะในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม		✓		✓
5. ช่างเชื่อมขาดทักษะในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม			✓	
6. ช่างเชื่อมเลือกใช้กระบวนการเชื่อมไม่เหมาะสมกับประเภทของโลหะ		✓		
สาเหตุจากการเตรียมงานเชื่อม				
7. ลวดเติมไม่เหมาะสมกับชนิดโลหะ	✓			
8. ขนาด Nozzle ของหัวเชื่อมไม่เหมาะสม	✓			
9. การบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป		✓	✓	✓
10. การเตรียมมุมระหว่าง 2 แผ่นโลหะเล็กเกินไป			✓	

ตารางที่ 6.28 ความสัมพันธ์ของสาเหตุที่แท้จริงและปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ (ต่อ)

สาเหตุ	ลักษณะข้อบกพร่อง			
	รูพรุน	**รอยแตก**	**รอยเชื่อมไม่เต็ม**	**การหลอมละลายไม่สมบูรณ์**
สาเหตุจากการตั้งค่าปัจจัยที่เครื่องเชื่อมโลหะ				
11. การตั้งค่ากระแสไฟไม่เหมาะสม	✓	✓	✓	✓
12. การตั้งค่าแรงดันไม่เหมาะสม	✓			
13. เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์	✓	✓	✓	✓
สาเหตุจากการตรวจสอบการทำงาน				
14. การไม่มีการตรวจสอบจากพนักงาน QC		✓	✓	✓

จากตารางที่ 6.28 ทำการวิเคราะห์และพิจารณาแต่ละสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องร่วมกับทีมงานของโรงงานฯ ได้ดังนี้

- สาเหตุจากการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม

เนื่องจากการเชื่อมโลหะในกระบวนการผลิตแท็งก์เป็นขั้นตอนที่ต้องใช้แรงงานคนหรือช่างเชื่อมในการทำงานเป็นหลักร่วมกับเครื่องเชื่อมและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนั้น ความผิดพลาดจากการทำงานของคนจึงมีผลต่อการเกิดปัญหาข้อบกพร่องในขั้นตอนการเชื่อม จากการวิเคราะห์ FTA พบว่าสาเหตุจากการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม ได้แก่

1) การละเลยการทำความสะอาด

การทำความสะอาดพื้นผิวของแผ่นโลหะก่อนทำการเชื่อม เป็นขั้นตอนสำคัญในการเตรียมงานเชื่อม เนื่องจากความสกปรกบนพื้นผิวของแผ่นโลหะ เช่น คราบน้ำมัน จารบี สนิม หรือความชื้น ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องรูพรุนในแนวเชื่อม เพราะสิ่งสกปรกดังกล่าวจะเข้าไปหลอมรวมตัวกับแนวเชื่อม ดังนั้นช่างเชื่อมจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำความสะอาดแผ่นโลหะก่อน

สำหรับการละเลยการทำความสะอาดของช่างเชื่อม โดยเมื่อช่างเชื่อมทำการเตรียมแผ่นโลหะหรือการบากร่องเพื่อเตรียมรอยต่อการเชื่อมเสร็จแล้ว และทำการเชื่อมในทันที

ภายหลังการเชื่อมเสร็จผู้ตรวจสอบการทำงาน คือหัวหน้าช่างเชื่อมหรือพนักงาน QC จะไม่สามารถตรวจสอบข้อบกพร่องรูพรุนที่อยู่ในเนื้อแนวเชื่อมจากสาเหตุแผ่นโลหะสกปรกได้ จนกว่าแท็งก์จะได้รับการทดสอบแบบไม่ทำลาย RT

2) ช่างเชื่อมขาดทักษะในการป้อนเติมลวดเชื่อม

การป้อนเติมลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมประเภท TIG เป็นทักษะที่ต้องอาศัยความฝึกฝนการทำงาน การป้อนเติมที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสมกับงานเชื่อมมีผลต่อระยะอาร์กของการเชื่อม ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การเชื่อมเกิดปัญหาข้อบกพร่องรอยเชื่อมไม่เต็มและการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

3) ช่างเชื่อมขาดทักษะในการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ

การทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ มีผลต่อการเดินแนวเชื่อมและการแทรกตัวของอากาศเข้ามาในแนวเชื่อม เป็นสาเหตุที่ทำให้การเชื่อมเกิดปัญหาข้อบกพร่องรูพรุน โดยทั่วไปมุมที่เหมาะสมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะมีค่าที่แน่นอนตามทฤษฎีคือ มุมระหว่าง 45 – 60 องศา แต่ในการปฏิบัติหน้างาน เป็นเรื่องยากที่จะทำการวัดขนาดให้มุมของการเชื่อมให้มีขนาดที่เหมาะสมตามทฤษฎี ดังนั้น การที่ช่างเชื่อมมีทักษะในการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะที่ดีจะทำให้ช่างเชื่อมสามารถกะหรือประมาณขนาดของมุมที่เหมาะสมได้ ซึ่งต้องอาศัยการเรียนรู้และประสบการณ์ในการเชื่อม

4) ช่างเชื่อมขาดทักษะในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม

ความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม คือ ความเร็วที่ใช้ในการเดินหัวเชื่อมเพื่อเชื่อมโลหะ เพื่อให้แนวเชื่อมสวยงามและมีคุณภาพ ความเร็วในการเคลื่อนที่ต้องเหมาะสมและต้องรักษาระดับความเร็วให้สม่ำเสมอ เนื่องจากความเร็วในการเคลื่อนที่ ที่ช้าหรือเร็วเกินไปจะเป็นสาเหตุที่ทำให้แนวเชื่อมไม่สวยงามและอาจเกิดข้อบกพร่องรอยเชื่อมไม่เต็มได้

การมีทักษะของช่างเชื่อมในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมมีเหตุผลเช่นเดียวกับทักษะในการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะในหัวข้อที่ 3) คือต้องมีการฝึกฝนและอาศัยประสบการณ์ในด้านการทำงาน

5) ช่างเชื่อมขาดทักษะในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม

การเคลื่อนที่หัวเชื่อมมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับท่าหรือตำแหน่งในการเชื่อม การมีทักษะในการเคลื่อนที่หัวเชื่อมต้องอาศัยการฝึกฝนและประสบการณ์เช่นเดียวกันกับทักษะในการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะและทักษะในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม

6) ช่างเชื่อมเลือกใช้กระบวนการเชื่อมไม่เหมาะสมกับประเภทของโลหะ

กระบวนการเชื่อมโลหะโดยทั่วไปนั้นมีหลายกระบวนการ แต่ในขั้นตอนการเชื่อมโลหะของกระบวนการผลิตแท็งก์จะใช้กระบวนการเชื่อมแบบ TIG และ MIG-MAG ขึ้นอยู่กับการวางแผนการเชื่อมและประเภทของแผ่นโลหะที่นำมาใช้ในการเชื่อม

- สาเหตุจากการเตรียมงานเชื่อม

1) ลวดเติมไม่เหมาะสมกับชนิดโลหะ

ลวดเติมที่ใช้ในการเชื่อมโลหะ ต้องเป็นลวดที่มีส่วนผสมของธาตุต่างๆ เหมือนกันกับแผ่นโลหะที่ต้องการเชื่อม จะทำให้เนื้อเชื่อมที่ได้นั้นมีคุณสมบุติเช่นเดียวกับแผ่นโลหะ นอกจากนี้ขนาดความโตและความยาวของลวดเชื่อมต้องเป็นไปตามมาตรฐาน (โรงงานฯ อ้างอิงการใช้ลวดเชื่อมตามมาตรฐาน AWS) การใช้ลวดเติมที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทรูพรุนจากการเชื่อม

2) การบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป

ขนาดของร่องบากระหว่าง 2 แผ่นโลหะที่แคบเกินไปเป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการบากแผ่นโลหะในขั้นตอนการเตรียมการเชื่อม ร่องบากที่มีขนาดเล็กหรือแคบเกินไปจะส่งผลให้การซึมลึกไม่สมบูรณ์ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องรอยแตก รอยเชื่อมไม่เต็มและการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

3) การเตรียมมุมระหว่าง 2 แผ่นโลหะเล็กเกินไป

เป็นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการเตรียมการเชื่อมเช่นเดียวกันกับ สาเหตุการบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป โดยการเตรียมมุมที่มีขนาดเล็กจะให้ทำการซึมลึกของการเชื่อมไปไม่ถึงรากของรอยต่อการเชื่อม เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องรอยเชื่อมไม่เต็ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- สาเหตุจากการตั้งค่าปัจจัยที่เครื่องเชื่อม

1) การตั้งค่ากระแสไฟไม่เหมาะสม

สำหรับกระบวนการเชื่อมแบบ TIG กระแสไฟเชื่อม (welding current) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของรอยเชื่อมและการซึมลึก ซึ่งมีความสำคัญต่องานเชื่อมโลหะที่ต้องการความแข็งแรงและความสวยงามของรอยเชื่อม การใช้กระแสไฟเชื่อมที่ไม่เหมาะสม คือการใช้กระแสไฟในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องในแนวเชื่อมทั้ง 4 ประเภท คือ รูพรุน รอยแตก รอยเชื่อมไม่เต็มและการหลอมละลายไม่สมบูรณ์

2) การตั้งค่าค่าแรงดันไม่เหมาะสม

สำหรับกระบวนการเชื่อมแบบ MIG ค่าแรงดัน (voltage) เป็นปัจจัยที่มีผลต่อระยะอาร์กของการเชื่อม และมีผลต่อพลังงานความร้อนที่แผ่นโลหะได้รับ รวมถึงรูปร่างขนาดของรอยเชื่อมและการซึมลึก ซึ่งมีความสำคัญต่องานเชื่อมโลหะที่ต้องการความแข็งแรงและความสวยงามของรอยเชื่อม การตั้งค่าแรงดันไฟที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องรูพรุน

กรณีที่มีการตั้งค่าแรงดันไฟที่สูงเกินไป จะให้การซึมลึกในแนวเชื่อมสูง อาจเกิดการซึมลึกทะลุผ่านแผ่นโลหะ (burn-through) ทำให้แนวเชื่อมที่ได้ไม่มีคุณภาพและไม่สวยงาม แนวเชื่อมจะมีลักษณะแบนราบและมีลักษณะความกว้างมากกว่าแนวเชื่อมปกติ และในกรณีที่ตั้งค่าความดันไฟที่ต่ำเกินไป จะส่งผลให้รอยเชื่อมส่วนบนสูงเกินไป การซึมลึกที่เกิดขึ้นต่ำมาก ทำให้แนวเชื่อมมีลักษณะแคบและมีความนูนมากกว่าแนวเชื่อมปกติ

3) เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์/ไม่พร้อมใช้งาน

ความไม่สมบูรณ์หรือการไม่พร้อมใช้งานของเครื่องเชื่อม เป็นสาเหตุที่เกิดจากการที่โรงงานฯ ไม่มีการตรวจสอบหรือแผนการบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอ เมื่อมีการใช้งานจึงทำให้พบปัญหาจากเครื่องเชื่อมดังกล่าว ซึ่งเครื่องเชื่อมมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับการตั้งค่ากระแสไฟ ค่าแรงดันและปริมาณแก๊สปกคลุมต่างๆ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของแนวเชื่อม ดังนั้นเมื่อเกิดเหตุการณ์เครื่องเชื่อมไม่สมบูรณ์หรือการไม่พร้อมใช้งานจึงอาจส่งผลต่อการเกิดปัญหาข้อบกพร่องในขั้นตอนการเชื่อมได้

- สาเหตุจากการตรวจสอบการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ไม่มีการตรวจสอบจากพนักงาน QC

การตรวจสอบการทำงานของพนักงาน QC เป็นการตรวจสอบในด้านคุณภาพของงานเชื่อมในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ แต่เนื่องจากปัญหาของโรงงานฯ คือการมีพนักงาน QC อยู่จำนวน 2 คน ซึ่งไม่เพียงพอต่อการตรวจสอบในกระบวนการผลิตอย่างทั่วถึง จึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในขั้นตอนการทำงานส่งผลให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องในขั้นตอนการเชื่อม

จากการวิเคราะห์สาเหตุดังกล่าว สามารถทำการสรุปเป็นหัวข้อบทเรียนเฉพาะเรื่อง (OPL) ได้ดังตารางที่ 6.29

ตารางที่ 6.29 การกำหนดหัวข้อ OPL

สาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง	การกำหนดหัวข้อ OPL
สาเหตุจากการปฏิบัติงานเชื่อม	
1. การละเลยการทำความสะอาด	คุณภาพและสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อม
2. ช่างเชื่อมขาดทักษะในการป้อนเติมลวดเชื่อม	วิธีการป้อนเติมลวดเชื่อม (TIG และ MIG-MAG)
3. ช่างเชื่อมขาดทักษะในการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ	วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ (TIG และ MIG-MAG)
4. ช่างเชื่อมขาดทักษะในด้านความเร็วในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม	วิธีการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม (TIG และ MIG-MAG)
5. ช่างเชื่อมขาดทักษะในการเคลื่อนที่หัวเชื่อม	วิธีการและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อม (TIG และ MIG-MAG)
6. ช่างเชื่อมเลือกใช้กระบวนการเชื่อมไม่เหมาะสมกับประเภทของโลหะ	วิธีการเลือกกระบวนการเชื่อมให้เหมาะสมกับประเภทของโลหะ
สาเหตุจากการเตรียมงานเชื่อม	
7. การบากร่องแผ่นโลหะแคบเกินไป	การเตรียมรอยต่อการเชื่อมที่เหมาะสม
สาเหตุจากการตั้งค่าเครื่องเชื่อม	
8. การตั้งค่ากระแสไฟไม่เหมาะสม	วิธีกำหนดกระแสไฟให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะ (TIG)
9. การตั้งค่าแรงดันไม่เหมาะสม	วิธีกำหนดความดันไฟให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะ (MIG-MAG)

จากตารางที่ 6.29 เมื่อมีการกำหนดหัวข้อบทเรียน OPL แล้วจากนั้นดำเนินการสร้าง OPL โดยใช้โปรแกรม Sony Vegas Pro 12 เป็นเครื่องมือในการตัดต่อวีดิทัศน์ สามารถสร้าง OPL ได้ทั้งหมด 13 บทเรียน ดังแสดงในตารางที่ 6.30

ตารางที่ 6.30 บทเรียน OPL

บทเรียน OPL	บทเรียน OPL	รูปแบบ OPL
1. คุณภาพและสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะ	W-TP-01	แผ่นภาพ
2. วิธีการป้อนเติมลวดเชื่อม สำหรับการเชื่อม TIG	W-TV-01	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
3. วิธีการป้อนเติมลวดเชื่อม สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	W-TV-02	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
4. วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ สำหรับการเชื่อม TIG	W-TV-03	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
5. วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	W-TV-04	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
6. วิธีการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม สำหรับการเชื่อม TIG	W-TV-05	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
7. วิธีการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	W-TV-06	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
8. วิธีการและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อม สำหรับการเชื่อม TIG	W-TV-07	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
9. วิธีการและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อม สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	W-TV-08	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
10. วิธีการเลือกกระบวนการเชื่อมให้เหมาะสมกับประเภทของโลหะ	W-TV-09	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
11. การเตรียมรอยต่อการเชื่อมที่เหมาะสม	W-TV-10	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
12. วิธีกำหนดกระแสไฟให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะ สำหรับการเชื่อม TIG	W-TV-11	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ
13. วิธีกำหนดความดันไฟให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะ สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	W-TV-12	วีดิทัศน์และแผ่นภาพ

6.5.4 การจัดทำตารางทักษะ (skill matrix)

การออกแบบและสร้างตารางไขว้สำหรับตารางทักษะ (skill matrix) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อม โดยข้อมูลในตารางประกอบด้วย (1) ความรู้และทักษะที่พึงประสงค์ของช่างเชื่อมโลหะ (2) บทเรียน OPL ที่ใช้สำหรับการพัฒนาทักษะช่างเชื่อม (ได้จากขั้นตอนการจัดทำบทเรียนเฉพาะเรื่องสำหรับการฝึกอบรมช่างเชื่อมในหัวข้อ 6.4.3) (3) รายชื่อช่างเชื่อมในโรงงานฯ (4) ผลการประเมินช่างเชื่อม (5) เกณฑ์ที่ใช้ในการ

ประเมินประสิทธิภาพช่างเชื่อม และในตารางยังแสดงถึงรายละเอียดเกี่ยวกับการประเมินอื่นๆ เช่น วันที่ประเมิน และข้อคิดเห็นเพิ่มเติมของผู้ประเมิน เป็นต้น สำหรับรูปแบบของตาราง แสดงดังตารางที่ 6.31 และแสดงการจัดทำตารางทักษะ (skill matrix) ช่างเชื่อม ภายหลังจากการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานจะแสดงในบทที่ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6 ตารางที่ 6.31 ตารางทักษะ (skill matrix)

เอกสาร การพัฒนาทักษะและการฝึกอบรมช่างเชื่อม (Skill Matrix)						ขั้นตอนการเชื่อมโลหะ
	หัวข้อลักษณะที่สำคัญ	ความรู้ด้านคุณภาพและการเตรียมการเชื่อม	ความรู้ในการปฏิบัติงานเชื่อม	ด้านทักษะในการเชื่อม TIG	ด้านทักษะในการเชื่อม MIG	แผนการฝึกอบรมบทเรียน OPL
ลำดับ	ลักษณะที่สำคัญ / รายชื่อช่างเชื่อม					
1						
3. รายชื่อช่างเชื่อม						
4						
5						
วันที่ประเมิน_____	ผู้ตรวจประเมิน_____		ความคิดเห็นเพิ่มเติม/ข้อเสนอแนะ_____			1 2 3 4

1. ความรู้และทักษะที่พึงประสงค์

2. บทเรียน OPL เพื่อพัฒนาทักษะ

4. ผลการประเมิน

5. เกณฑ์ในการประเมิน

6.5.1 การวางแผนการฝึกอบรม

ทำการประชุมกับทีมงานเพื่อวางแผนและหาแนวทางสำหรับการฝึกอบรมช่างเชื่อมโลหะ โดยไม่ให้ช่วงเวลาของการฝึกอบรมกระทบกับช่วงเวลาของการทำงานหลัก จากนั้นกำหนดการฝึกอบรมบทเรียน OPL สำหรับช่างเชื่อมแต่ละระดับ โดยช่างเชื่อมระดับ 1 และ 2 จะใช้บทเรียน OPL เพื่อการเรียนรู้ โดยช่างเชื่อมระดับ 1 สามารถเลื่อนเป็นระดับ 2 และช่างเชื่อมระดับ 2 สามารถเลื่อนเป็นระดับ 3 โดยใช้บทเรียน OPL ในการทบทวนความรู้เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการทดสอบเพื่อขอรับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อมจากหน่วยงานของรัฐ โดยบทเรียน OPL ที่จัดทำขึ้นในงานวิจัยนี้ เป็นความรู้ส่วนหนึ่งที่อยู่ในขอบเขตความรู้ด้านเทคโนโลยีการเชื่อม (Welding Technology) และด้านลวดเติมและแก๊สปกป้อง (Filler Rod and Shielding Gases) ตามที่ประกาศคณะกรรมการส่งเสริมการพัฒนาฝีมือแรงงาน ได้กำหนดขอบเขตความรู้ในการทดสอบช่างเชื่อมไว้

สำหรับช่างเชื่อมในระดับ 4 จะใช้บทเรียน OPL เป็นสื่อในการสอนแก่ช่างเชื่อมระดับ 1 และ 2 โดยช่างเชื่อมระดับ 3 สามารถเลื่อนเป็นระดับ 4 ได้จากการศึกษาบทเรียน OPL เพื่อเป็นสื่อในการถ่ายทอดความรู้ แสดงบทเรียน OPL ที่ช่างเชื่อมแต่ละระดับต้องฝึกอบรมดังตารางที่ 6.32

ตารางที่ 6.32 บทเรียน OPL ที่ช่างเชื่อมแต่ละระดับต้องฝึกอบรม

ระดับทักษะ	OPL เพื่อยกระดับทักษะ
ระดับ 1	W-TP-01, W-TV-01 ถึง W-TV-09
ระดับ 2	W-TP-01, W-TV-01 ถึง W-TV-12
ระดับ 3	W-TP-01, W-TV-01 ถึง W-TV-12
ระดับ 4	

6.5.2 การฝึกอบรม

หลังจากทำการวัดประสิทธิภาพทั้งในด้านความรู้และด้านทักษะการเชื่อมของช่างเชื่อมแล้ว ทำการประเมินศักยภาพช่างเชื่อมทั้ง 11 คน เพื่อวางแผนการจัดฝึกอบรมให้ความรู้เพื่อให้ตรงประเด็นและใช้เวลาในการฝึกอบรมอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการศึกษาการทำงานในแต่ละวันของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า ในช่วงเวลา 8.00 ถึง 9.00 น. ของทุก

วันจะมีการประชุมระหว่างหัวหน้าช่างเชื่อมและช่างเชื่อม จึงวางแผนให้มีการนำบทเรียน OPL มาใช้ฝึกอบรมช่างเชื่อมต่อจากการประชุมในแต่ละวัน เป็นเวลา 5 ถึง 10 นาที สำหรับ 1 บทเรียน โดยการฝึกอบรมมี ดังนี้

1) ช่างเชื่อมระดับ 3 ศึกษาการใช้บทเรียน OPL เป็นสื่อในการสอน โดยเริ่มต้นใช้เวลาฝึกอบรม 1 ครั้งต่อบทเรียน รวมใช้เวลารวม 13 ครั้ง จากนั้นช่างเชื่อมระดับ 3 ทดลองใช้บทเรียน OPL เพื่อสอนงาน โดยมีหัวหน้างานและหัวหน้าช่างเชื่อมทำการประเมินศักยภาพเพื่อพิจารณาเลื่อนระดับทักษะเป็นช่างเชื่อมระดับ 4

2) ช่างเชื่อมระดับ 4 ถ่ายทอดความรู้แก่ช่างเชื่อมระดับ 1 และ 2 โดยช่างเชื่อมระดับ 1 เรียนรู้บทเรียน W-TP-01, W-TV-01 ถึง W-TV-09 ส่วนช่างเชื่อมระดับ 2 เรียนรู้ทุกบทเรียน OPL ช่างเชื่อมระดับ 1 และ 2 ใช้เวลาในการเรียนรู้รวม 11 และ 13 ครั้ง ตามลำดับ จากนั้นหัวหน้างานและหัวหน้าช่างเชื่อมทำการประเมินศักยภาพช่างเชื่อมระดับ 1 เพื่อพิจารณาเลื่อนเป็นระดับ 2 ส่วนช่างเชื่อมระดับ 2 เป็นการทบทวนความรู้เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทดสอบเพื่อขอการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม

3) สำหรับช่างเชื่อมระดับ 1 ที่ไม่ผ่านการประเมิน จะต้องเรียนรู้บทเรียน OPL ในเรื่องนั้นอีกครั้ง

4) นอกจากนี้ ทำการติดแผ่นภาพบทเรียน OPL ไว้ในสถานที่ทำงานเพื่อให้ช่างเชื่อมได้เรียนรู้และทบทวนความเข้าใจด้วยตนเอง

6.6 การกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพ

ทำการกำหนดมาตรการควบคุมในแต่ละขั้นตอนการผลิตตามหลักการของวงจร PDCA ได้แก่ P (plan) คือ การกำหนดเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ในขั้นตอนการทำงาน เพื่อให้การทำงานบรรลุเป้าหมายที่ได้วางแผนไว้, D (do) คือ การปฏิบัติงานให้เป็นไปตามแผนงานที่ได้กำหนดไว้, C (check) คือ การตรวจสอบ เป็นการปฏิบัติงานเพื่อประเมินว่าการปฏิบัติงานนั้นเป็นไปตามแผนหรือไม่ และ A (act) คือ การปรับปรุงแก้ไข เป็นขั้นตอนการทำงานภายหลังจากการประเมินผล โดยนำผลจากการประเมินมาวิเคราะห์เพื่อการปรับปรุงแก้ไขและเพื่อให้เกิดการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของการทำงานในโรงงานฯ โดยมาตรการควบคุมคุณภาพตามหลักการของวงจร PDCA ของขั้นตอนการผลิตที่จัดทำขึ้นมีทั้งหมด 7 มาตรการ โดยเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ (P) เป็นไปตามแผนคุณภาพที่ได้จัดทำขึ้น ส่วน D,C และ A สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) มาตรการควบคุมขั้นตอนการเบิกวัสดุ (เอกสารหมายเลข R1-CP-01)

ขั้นตอนการเบิกวัสดุ มีการกำหนดเป้าหมายเป็นไปตามแผนคุณภาพที่ได้จัดทำขึ้น โดยกำหนดให้พนักงานเบิกวัสดุจากแผนกชิ้นส่วนใช้เอกสารการเบิกวัสดุ (R1-F-01 และ RQ2-F-01) ทุกครั้งที่มีการทำงาน เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นสำหรับการเบิกวัสดุที่ถูกต้อง ทั้งขั้นตอนการเบิกแผ่นโลหะและอุปกรณ์ติดตั้งแท็งก์ และภายหลังจากพนักงานทำการเบิกเรียบร้อยแล้วจะต้องให้พนักงานแผนกวัสดุคงคลังทำการตรวจสอบและเซ็นรับรองอีกครั้ง เพื่อยืนยันความถูกต้องครบถ้วนในการเบิก จากขั้นตอนการตรวจสอบการเบิกจะทำให้สามารถตรวจพบกรณีที่เกิดความผิดพลาดในการเบิกของพนักงาน โดยหัวหน้าแผนกเบิกวัสดุจะเป็นผู้พิจารณาถึงการทำงานที่ผิดพลาดนั้น ถ้าเป็นความผิดพลาดที่ยอมรับไม่ได้ เช่น พนักงานทำการเบิกผิดพลาดเป็นจำนวนหลายครั้ง ซึ่งเกิดจากความไม่รอบคอบหรือการไม่เข้าใจในลักษณะของวัสดุแต่ละประเภท หัวหน้าแผนกจะทำการตักเตือนและจัดการสอนงานด้านลักษณะของวัสดุแต่ละประเภท เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นอีกในอนาคต

2) มาตรการควบคุมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ (เอกสารหมายเลข P1-CP-01)

ขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะกำหนดให้พนักงานปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการบากร่องแผ่นโลหะ (P1-WI-01) โดยพนักงานจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแผ่นโลหะทุกครั้งก่อนทำการเตรียมรอยต่อหรือการบากร่องแผ่นโลหะ โดยทำการบันทึกลงแบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ (P1-F-01) และภายหลังจากทำการบากร่องแผ่นโลหะเสร็จเรียบร้อย หัวหน้างานหรือวิศวกรจะต้องทำการตรวจสอบการบากร่องแล้วเซ็นรับรองในเอกสารดังกล่าว ในกรณีที่มีการบากร่องไม่ได้ขนาด หัวหน้างานจะทำการแจ้งให้พนักงานทราบเพื่อทำการแก้ไข และบันทึกข้อมูลไม่ผ่านการตรวจสอบลงในเอกสาร เพื่อให้สามารถตรวจสอบกลับข้อมูลได้ ในกรณีที่การทำงานของพนักงานเกิดความผิดพลาดเป็นจำนวนครั้งที่เกินกว่าค่าที่ทางโรงงานฯ ยอมรับ แผนกควบคุมคุณภาพของโรงงานฯ จะนำผลการตรวจสอบมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาความผิดพลาดของพนักงาน จากนั้นทำการวางแผนการแก้ไขปรับปรุงปัญหาดังกล่าว

3) มาตรการควบคุมขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ (เอกสารหมายเลข W1-CP-01)

ขั้นตอนการเชื่อมโลหะกำหนดให้พนักงานปฏิบัติตามมาตรฐานการเชื่อม WPS สำหรับการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์จะแบ่งออกเป็น 3

ขั้นตอนย่อย คือ 1) การเชื่อมเสื้อแท็งก์ ใช้แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์ (W1-F-01) 2) การเชื่อมประกอบแผ่นกั้นช่อง และ 3) การเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์ โดย 2 ขั้นตอนดังกล่าวให้พนักงานใช้แบบตรวจสอบการทำงานฉบับเดียวกัน (W1-F-02) เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีการทำงานไปพร้อมกัน โดยให้หัวหน้างานหรือวิศวกรเป็นผู้ตรวจสอบการทำงานและเซ็นรับรอง และในขณะที่ช่างเชื่อมกำลังปฏิบัติหน้าที่ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (พนักงาน QC) จะมีการสุ่มตรวจการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา (WD-Check-01) นอกจากนี้ ภายหลังทำการเชื่อมโลหะเสร็จของทุกขั้นตอน พนักงาน QC จะทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาเพื่อหาข้อบกพร่องบนแนวเชื่อม ใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-Check-02) โดยมีมาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-WI-01) เป็นเกณฑ์สำหรับการตรวจสอบ

ในกรณีที่พบความผิดพลาดในการทำงานจากการตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อมและพบข้อบกพร่องจากการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา เป็นจำนวนที่สูงเกินกว่าค่าที่ทางโรงงานฯ ยอมรับได้ แผนกควบคุมคุณภาพจะนำผลการตรวจสอบมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวจากนั้นทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาดจากการทำงานและเป็นการลดสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง

ในส่วนของการฝึกอบรมและวัดประสิทธิภาพช่างเชื่อม มีขั้นตอนและเงื่อนไขการฝึกอบรมตามเอกสารขั้นตอนการดำเนินงานฝึกอบรมช่างเชื่อม (W-PR-01), เอกสารการวัดประสิทธิภาพช่างเชื่อม (W-PR-02) โดยในการฝึกอบรมเรื่องการเชื่อมโลหะจะใช้สื่อถ่ายทอดความรู้ในรูปแบบซอง OPL ทั้งหมด 13 เรื่อง คือ W-TP-01 และ W-TV-01 ถึง W-TV-12 (แสดงในภาคผนวก ง)

4) มาตรการควบคุมขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole (เอกสารหมายเลข W2-CP-01)

กำหนดให้มีการตรวจสอบการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งฝา Manhole (W2-F-01) เพื่อเป็นการตรวจสอบการติดตั้งฝา Manhole ว่าตำแหน่งติดตั้งถูกต้องตามแท็งก์ต้นแบบหรือไม่ โดยให้หัวหน้างานหรือวิศวกรเป็นผู้ตรวจสอบและเซ็นรับรอง นอกจากนี้ ในขณะที่ช่างเชื่อมกำลังปฏิบัติหน้าที่ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (พนักงาน QC) จะมีการสุ่มตรวจการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา (W-Check-01)ภายหลังการเชื่อมติดตั้งฝา manhole เสร็จเรียบร้อยแล้ว พนักงาน QC จะมาทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาเพื่อหาข้อบกพร่องบนแนวเชื่อมโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-Check-02) จากการ

ตรวจสอบการปฏิบัติงานของพนักงานและการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา ในกรณีที่เกิดความผิดพลาดขึ้น จะนำผลการประเมินมาทำการวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงการทำงานเพื่อลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น

5) มาตรการควบคุมขั้นตอนการติดตั้ง nozzle (เอกสารหมายเลข W3-CP-01)

กำหนดให้มีการตรวจสอบการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้ง nozzle (W3-F-01) เพื่อเป็นการตรวจสอบการติดตั้ง nozzle ว่าตำแหน่งติดตั้งถูกต้องตามแท็งก์ต้นแบบหรือไม่ โดยให้หัวหน้างานหรือวิศวกรเป็นผู้ตรวจสอบและเซ็นรับรอง นอกจากนี้ ในขณะที่ช่างเชื่อมกำลังปฏิบัติหน้าที่ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (พนักงาน QC) จะมีการสุ่มตรวจการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา (W-Check-01) ภายหลังการเชื่อมติดตั้งฝา manhole เสร็จเรียบร้อยแล้ว พนักงาน QC จะมาทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาเพื่อหาข้อบกพร่องบนแนวเชื่อมโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-Check-02)

6) มาตรการควบคุมขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย (เอกสารหมายเลข W4-CP-01)

กำหนดให้มีการตรวจสอบการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย (W4-F-01) เพื่อเป็นการตรวจสอบการติดตั้ง nozzle ว่าตำแหน่งติดตั้งถูกต้องตามแท็งก์ต้นแบบหรือไม่ โดยให้หัวหน้างานหรือวิศวกรเป็นผู้ตรวจสอบและเซ็นรับรอง นอกจากนี้ ในขณะที่ช่างเชื่อมกำลังปฏิบัติหน้าที่ พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (พนักงาน QC) จะมีการสุ่มตรวจการทำงานโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะด้วยสายตา (W-Check-01)ภายหลังการเชื่อมติดตั้งฝา Manhole เสร็จเรียบร้อยแล้ว พนักงาน QC จะมาทำการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาเพื่อหาข้อบกพร่องบนแนวเชื่อมโดยใช้แบบตรวจสอบข้อบกพร่องจากแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-Check-02)

7) มาตรการควบคุมขั้นตอนการตรวจสอบการเชื่อมด้วยสายตา

จัดทำมาตรฐานวิธีการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา ในเอกสาร W-WI-01 (แสดงในภาคผนวก จ) สำหรับพนักงาน QC

จากการกำหนดมาตรการควบคุมดังที่กล่าวมา สามารถจัดเป็นเอกสารมาตรการควบคุม (control plan) แสดงดังตารางที่ 6.33

ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (control plan)

มาตรการควบคุม (Control Plan)								
แผนก: แผนกผลิตแท็งก์				หมายเลขเอกสาร R1-CP-01				Page 1/6
ประเภทแท็งก์: แท็งก์ L4BN				วันที่จัดทำ		ครั้งที่แก้ไข		
ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ลักษณะคุณภาพที่ควบคุม	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	เครื่องมือ/วิธีการตรวจสอบ	ความถี่	เอกสารอ้างอิง	วิธีการควบคุม	มาตรการการตอบโต้
1. การเบิกวัสดุ	พนักงานเบิก	• ประเภทของแผ่นโลหะ • ขนาดของแผ่นโลหะ • ความหนาของแผ่นโลหะ • ชนิดของอุปกรณ์ใช้งาน • จำนวนอุปกรณ์ใช้งาน • ความสมบูรณ์ (ไม่ชำรุด) ของอุปกรณ์	ตรงตามต้นแบบ	• สายตาผู้ตรวจสอบ • เครื่องวัดความหนา • การนับจำนวน	ทุกครั้งของการเบิก	• ใบรับรองสินค้าแผ่นโลหะ • เอกสาร R1-F-01 • เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	การตรวจสอบความถูกต้องโดยหัวหน้างาน	บันทึกข้อมูลความผิดพลาดในการเบิกและนำวัสดุที่เบิกมาผิดไปเปลี่ยนที่แผนกชิ้นส่วน

ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (control plan) (ต่อ)

มาตรการควบคุม (Control Plan)								
แผนก: แผนกผลิตแท็งก์				หมายเลขเอกสาร P1-CP-01				Page 2/6
ประเภทแท็งก์: แท็งก์ L4BN				วันที่จัดทำ		ครั้งที่แก้ไข		
ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ลักษณะคุณภาพที่ควบคุม	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	เครื่องมือ/วิธีการตรวจสอบ	ความถี่	เอกสารอ้างอิง	วิธีการควบคุม	มาตรการการตอบโต้
2. การเตรียมแผ่นโลหะ	พนักงานแผนกผลิตแท็งก์	• ประเภทของแผ่นโลหะ • ขนาดของแผ่นโลหะ • ความหนาของแผ่นโลหะ • ขนาดการบากร่อง	ตรงตามต้นแบบ เอกสาร WPS	• สายตาผู้ตรวจสอบ • เครื่องวัดความหนา • สายตาผู้ตรวจสอบ • V-WAC gauge	ทุกครั้งของการเตรียมแผ่นโลหะ	• เอกสาร P1-F-01 • เอกสารแท็งก์ต้นแบบ • เอกสาร WPS	การตรวจสอบความถูกต้องโดยหัวหน้างาน	บันทึกข้อมูลความผิดพลาดลงในแบบบันทึกการทำงาน หัวหน้างานแจ้งให้พนักงานทราบข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่อง เพื่อให้เกิดการแก้ไขงาน แล้วหัวหน้างานทำการตรวจสอบอีกครั้งหลังจากที่พนักงานทำการแก้ไขเสร็จ

ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (Control Plan) (ต่อ)

มาตรการควบคุม (Control Plan)								
แผนก: แผนกผลิตแท็งก์				หมายเลขเอกสาร W1-CP-01				Page 3/6
ประเภทแท็งก์: แท็งก์ L4BN				วันที่จัดทำ		ครั้งที่แก้ไข		
ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ลักษณะคุณภาพที่ควบคุม	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	เครื่องมือ/วิธีการตรวจสอบ	ความถี่	เอกสารอ้างอิง	วิธีการควบคุม	มาตรการการตอบโต้
3. การเชื่อมประกอบแท็งก์	ช่างเชื่อม	• ตำแหน่งการเชื่อม • กระบวนการเชื่อม (TIG และ MIG-MAG) • ท่าทางในการเชื่อม	• เป็นไปตามข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) • พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเชื่อม	• เอกสารแท็งก์ต้นแบบ • เอกสาร W1-F-01 W1-F-02 • เอกสาร W-Check-01	การตรวจสอบความถูกต้องโดยหัวหน้างาน	บันทึกข้อมูลความผิดพลาดลงในแบบตรวจสอบการทำงาน W1-F-01 และ W1-F-02 ผู้ตรวจสอบแจ้งให้พนักงานทราบข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่อง เพื่อให้เกิดการแก้ไขงาน แล้วผู้ตรวจสอบทำการตรวจสอบอีกครั้งหลังจากที่พนักงานทำการแก้ไขเสร็จ
		• คุณภาพแนวเชื่อม	• มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา	V-WAC gauge		• เอกสาร W-STD-01 W-WI-01	ตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมโดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพหรือพนักงาน QC	พนักงานฝ่ายคุณภาพแจ้งตำแหน่งข้อบกพร่องแก่ช่างเชื่อมพร้อมทำสัญลักษณ์ไว้บนตัวแท็งก์ และบันทึกข้อมูลลง W-Check-02

ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (Control Plan) (ต่อ)

มาตรการควบคุม (Control Plan)								
แผนก: แผนกผลิตแท็งก์				หมายเลขเอกสาร W2-CP-01				Page 4/6
ประเภทแท็งก์: แท็งก์ L4BN				วันที่จัดทำ		ครั้งที่แก้ไข		
ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ลักษณะคุณภาพที่ควบคุม	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	เครื่องมือ/วิธีการตรวจสอบ	ความถี่	เอกสารอ้างอิง	วิธีการควบคุม	มาตรการการตอบโต้
4. การติดตั้งฝา manhole	ช่างเชื่อม	• ตำแหน่งการเชื่อม • กระบวนการเชื่อม (TIG และ MIG-MAG) • ท่าทางในการเชื่อม	• เป็นไปตามข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) • พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเชื่อม	• เอกสารแท็งก์ต้นแบบ • เอกสาร W2-F-01 • เอกสาร W-Check-01	การตรวจสอบความถูกต้องโดยหัวหน้างาน	บันทึกข้อมูลความผิดพลาดลงในแบบตรวจสอบการทำงาน W2-F-01ผู้ตรวจสอบแจ้งให้พนักงานทราบข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่อง เพื่อให้เกิดการแก้ไขงาน แล้วผู้ตรวจสอบทำการตรวจสอบอีกครั้งหลังจากที่พนักงานทำการแก้ไขเสร็จ
		• คุณภาพแนวเชื่อม	• มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา	V-WAC gauge		• เอกสาร W-STD-01	ตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมโดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพหรือพนักงาน QC	พนักงานฝ่ายคุณภาพแจ้งตำแหน่งข้อบกพร่องแก่ช่างเชื่อมพร้อมทำสัญลักษณ์ไว้บนตัวแท็งก์ และบันทึกข้อมูลลง W-Check-02

ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (Control Plan) (ต่อ)

มาตรการควบคุม (Control Plan)								
แผนก: แผนกผลิตแท็งก์				หมายเลขเอกสาร W3-CP-01				Page 5/6
ประเภทแท็งก์: แท็งก์ L4BN				วันที่จัดทำ		ครั้งที่แก้ไข		
ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ลักษณะคุณภาพที่ควบคุม	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	เครื่องมือ/วิธีการตรวจสอบ	ความถี่	เอกสารอ้างอิง	วิธีการควบคุม	มาตรการการตอบโต้
5. การติดตั้ง nozzle	ช่างเชื่อม	• ตำแหน่งการเชื่อม • กระบวนการเชื่อม (TIG และ MIG-MAG) • ท่าทางในการเชื่อม	เป็นไปตาม ข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม	สายตาผู้ตรวจสอบ	ทุกครั้งของการเชื่อม	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ เอกสาร WD3-F-01 เอกสาร W-Check-01	การตรวจสอบความถูกต้องโดยหัวหน้างาน	บันทึกข้อมูลความผิดพลาดลงในแบบตรวจสอบการทำงาน W2-F-01ผู้ตรวจสอบแจ้งให้พนักงานทราบข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่อง เพื่อให้เกิดการแก้ไขงาน แล้วผู้ตรวจสอบทำการตรวจสอบอีกครั้งหลังจากที่พนักงานทำการแก้ไขเสร็จ
		• คุณภาพแนวเชื่อม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา	V-WAC gauge		เอกสาร W-STD-01	ตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมโดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ หรือพนักงาน QC	พนักงานฝ่ายคุณภาพแจ้งตำแหน่งข้อบกพร่องแก่ช่างเชื่อมพร้อมทำสัญลักษณ์ไว้บนตัวแท็งก์ และบันทึกข้อมูลลง W-Check-02

ตารางที่ 6.33 มาตรการควบคุม (Control Plan) (ต่อ)

มาตรการควบคุม (Control Plan)								
แผนก: แผนกผลิตแท็งก์				หมายเลขเอกสาร W4-CP-01				Page 6/6
ประเภทแท็งก์: แท็งก์ L4BN				วันที่จัดทำ		ครั้งที่แก้ไข		
ขั้นตอน	ผู้รับผิดชอบ	ลักษณะคุณภาพที่ควบคุม	พารามิเตอร์/เกณฑ์การตัดสินใจ	เครื่องมือ/วิธีการตรวจสอบ	ความถี่	เอกสารอ้างอิง	วิธีการควบคุม	มาตรการการตอบโต้
6. การติดตั้ง ฝาหัว-ฝาท้าย	ช่างเชื่อม	• ตำแหน่งการเชื่อม • กระบวนการเชื่อม (TIG และ MIG-MAG) • ท่าทางในการเชื่อม • ระยะยื่นของฝาหัว-ฝาท้าย	• เป็นไปตามข้อกำหนดกระบวนการเชื่อม (WPS) • พิจารณาโดยหัวหน้าช่างเชื่อม	สายตาผู้ตรวจสอบ Vernier Calipers	ทุกครั้งของการเชื่อม	• เอกสารแท็งก์ต้นแบบ • เอกสาร W3-F-01 • เอกสาร W-Check-01	การตรวจสอบความถูกต้องโดยหัวหน้างาน	บันทึกข้อมูลความผิดพลาดลงในแบบตรวจสอบการทำงาน W3-F-01ผู้ตรวจสอบแจ้งให้พนักงานทราบข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่อง เพื่อให้เกิดการแก้ไขงาน แล้วผู้ตรวจสอบทำการตรวจสอบอีกครั้งหลังจากที่พนักงานทำการแก้ไขเสร็จ
		• คุณภาพแนวเชื่อม	มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยสายตา	V-WAC gauge		• เอกสาร W-STD-01	ตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมโดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ หรือพนักงาน QC	พนักงานฝ่ายคุณภาพแจ้งตำแหน่งข้อบกพร่องแก่ช่างเชื่อมพร้อมทำสัญลักษณ์ไว้บนตัวแท็งก์ และบันทึกข้อมูลลง W-Check-02

บทที่ 7

ผลการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนผลิตแท็งก์

7.1 การเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต

ภายหลังการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขขั้นตอนการผลิต โดยการจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนต่างๆ เอกสารการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมด้วยสายตา การสร้างระบบการฝึกอบรมช่างเชื่อมและการวัดผลประสิทธิภาพการทำงาน พบว่า ข้อบกพร่องจากการทำงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตลดลงเฉลี่ย 27.26 เปอร์เซ็นต์ และข้อบกพร่องที่ต้องตรวจสอบโดยใช้การทดสอบ NDT จากหน่วยงานอิสระ หรือข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ ลดลงเฉลี่ย 37.50 เปอร์เซ็นต์ แสดงสัดส่วนข้อบกพร่องก่อนและหลังการปรับปรุงดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 สัดส่วนข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตก่อนและหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนการผลิต	ลักษณะข้อบกพร่อง	สัดส่วนข้อบกพร่อง (เปอร์เซ็นต์)		สัดส่วนที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
การเตรียมแผ่นโลหะ	แผ่นโลหะ ไม่ตรงตามต้นแบบ	66.67	0.00	66.67
	ขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ	47.27	15.79	31.48
การเชื่อมประกอบแท็งก์	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	53.33	27.27	26.06
	แนวเชื่อมมีรอยแตก	38.33	18.18	20.15
	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	43.33	22.73	20.61
	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ*	83.33	50.00	33.33
การติดตั้งฝา manhole	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	30.00	25.00	5.00
การติดตั้ง nozzle	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	41.67	25.00	16.67
การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม	25.00	0.00	25.00
	แนวเชื่อมมีรอยแตก	33.33	25.00	8.33
	แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด	33.33	25.00	8.33
	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ*	66.67	25.00	41.67
การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	51.16	0.00	51.16
ค่าเฉลี่ยสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง				27.26 %
ค่าเฉลี่ยสัดส่วนข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ* ที่ลดลง จากการตรวจสอบ NDT				37.50 %

จากตารางที่ 7.1 สัดส่วนข้อบกพร่องที่ลดลงหลังจากทำการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต สามารถอธิบายด้วยการแบ่งเป็นกลุ่มของสัดส่วนข้อบกพร่องที่ลดลงได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ I คือ สัดส่วนข้อบกพร่องลดลงในช่วง 51-100 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ II คือ สัดส่วนข้อบกพร่องลดลงในช่วง 31-50 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่มที่ III คือ สัดส่วนข้อบกพร่องลดลงในช่วง 5-30 เปอร์เซ็นต์ สามารถแจกแจงลักษณะข้อบกพร่องที่ลดลงตามกลุ่มได้ ดังนี้

ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพจากขั้นตอนการเชื่อมติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย ลดลง 66.67 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้มีการจัดทำบทเรียน OPL ซึ่งเป็นสื่อความรู้แบบภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีทัศน์ โดยประเด็นสำคัญและเนื้อหาในแต่ละบทเรียนได้จากการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้งานเชื่อมโลหะเกิดข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ บทเรียน OPL จึงช่วยทำให้ช่างเชื่อมได้เห็นลักษณะการทำงานเชื่อมโลหะที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องได้จากวิดีทัศน์ และในบทเรียน OPL ยังให้ความรู้ในเรื่องของผลกระทบต่อคุณภาพแท็งก์ในกรณีที่ช่างเชื่อมละเลยการทำงานที่ถูกต้องอีกด้วย ดังนั้น การฝึกอบรมช่างเชื่อมโดยใช้บทเรียน OPL จึงน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้ช่างเชื่อมมีความตั้งใจในการทำงานเชื่อมที่ถูกต้องตรงตามมาตรฐานวิธีการเชื่อม สามารถลดการละเลยการทำงานที่ถูกวิธีลงได้ นอกจากนี้ ในงานวิจัย ได้มีการสร้างเกณฑ์การประเมินทักษะช่างเชื่อมแต่ละคนจากหัวหน้าช่างเชื่อมและหัวหน้างาน ทำให้ทางโรงงานฯ สามารถจัดลำดับด้านประสิทธิภาพของช่างเชื่อมแต่ละคนได้อย่างถูกต้องและสามารถวางแผนการทำงานของช่างเชื่อมแต่ละคนได้ตามทักษะและประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างเหมาะสม จากเหตุผลกล่าวมา จึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพจากขั้นตอนการเชื่อมติดตั้งฝาหัว-ฝาท้ายมีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลงในจำนวนที่สูง

กลุ่มที่ I ได้แก่ ข้อบกพร่อง 1) แผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบจากขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะมีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 66.67 เปอร์เซ็นต์ และ 2) การเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบจากขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ พบว่าสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 51.16 เปอร์เซ็นต์ โดยข้อบกพร่องทั้ง 2 ในกลุ่ม I เป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ มีสาเหตุหลักมาจากความผิดพลาดและความไม่รอบคอบของพนักงานเบิกวัสดุ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นบ่อยครั้ง งานวิจัยนี้จึงจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานโดยให้พนักงานเบิกเป็นผู้ตรวจสอบและบันทึกทุกครั้งที่มีการเบิกวัสดุและให้หัวหน้างานเป็นผู้เซ็นรับรองการเบิก ภายหลังจากที่มีการใช้เอกสารการตรวจสอบทุกครั้งที่มีการเบิกวัสดุจึงทำให้สัดส่วนข้อบกพร่องในขั้นตอนนี้ลดลงเป็นสัดส่วนที่สูง

กลุ่มที่ II ได้แก่ ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพจากขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้ายและขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์มีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 41.67 และ 33.33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ข้อบกพร่องขนาดบากร่องไม่ได้ระยะจากขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะมีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 31.48 เปอร์เซ็นต์ สำหรับข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพจาก 2 ขั้นตอนดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้

ดำเนินการปรับปรุงคุณภาพไปพร้อมกัน เนื่องจากทางคณะทีมงานมีความคิดเห็นตรงกันว่าเป็นข้อบกพร่องที่มีสาเหตุการเกิดเหมือนกัน การปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องนี้โดยการจัดทำบทเรียน OPL ซึ่งเป็นสื่อความรู้แบบภาพเคลื่อนไหวหรือวิดีทัศน์ โดยประเด็นสำคัญและเนื้อหาในแต่ละบทเรียนได้จากการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้งานเชื่อมโลหะเกิดข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ บทเรียน OPL จึงช่วยทำให้ช่างเชื่อมได้เห็นลักษณะการทำงานเชื่อมโลหะที่ถูกต้องและไม่ถูกต้องได้จากวิดีทัศน์ และในบทเรียน OPL ยังให้ความรู้ในเรื่องของผลกระทบต่อคุณภาพแท็งก์ในกรณีที่ช่างเชื่อมละเลยการทำงานที่ถูกต้องอีกด้วย ดังนั้น การฝึกอบรมช่างเชื่อมโดยใช้บทเรียน OPL จึงน่าจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยให้ช่างเชื่อมมีความตั้งใจในการทำงานเชื่อมที่ถูกต้องตรงตามมาตรฐานวิธีการเชื่อม สามารถลดการละเลยการทำงานที่ถูกวิธีลงได้ นอกจากนี้ ในงานวิจัย ได้มีการสร้างเกณฑ์การประเมินทักษะช่างเชื่อมแต่ละคนจากหัวหน้าช่างเชื่อมและหัวหน้างาน ทำให้ทางโรงงานฯ สามารถจัดลำดับด้านประสิทธิภาพของช่างเชื่อมแต่ละคนได้อย่างถูกต้องและสามารถวางแผนการทำงานของช่างเชื่อมแต่ละคนได้ตามทักษะและประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างเหมาะสม แต่เนื่องจากคุณภาพจากการเชื่อมโลหะนั้นนอกจากจะรู้เทคนิควิธีการเชื่อมที่ถูกต้องแล้วยังต้องใช้ระยะเวลาในการฝึกอบรมเพื่อสะสมทักษะของช่างเชื่อมแต่ละคนด้วย ดังนั้นการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพจึงมีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลงไม่มากนัก

ในส่วนของข้อบกพร่องขนาดบากร่องไม่ได้ระยะจากขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ เป็นขั้นตอนการทำงานที่ต้องอาศัยทักษะของพนักงานผู้ปฏิบัติงานเช่นเดียวกับการทำงานเชื่อมโลหะ และเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการวัดขนาดของร่องบาก จะต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีความละเอียดสูง เนื่องจากขนาดของร่องบากที่ระบุไว้ใน WPS มีหน่วยความละเอียดในระดับมิลลิเมตร แต่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุดและโอกาสในการเกิดความผิดพลาดในการทำงานต่ำที่สุด ควรมีการอบรมพนักงานผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับวิธีการบากร่องที่ถูกต้อง รวมถึงการใช้เครื่องมือในการบากร่องและเครื่องมือวัด แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องเวลา งานวิจัยนี้จึงไม่สามารถจัดการอบรมในเรื่องการบากร่องแผ่นโลหะแก่พนักงานได้ แต่ทำการปรับปรุงแก้ไขเพียงการสร้างแบบตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะและให้หัวหน้างานทำการสุ่มตรวจสอบเท่านั้น สัดส่วนข้อบกพร่องในขั้นตอนนี้จึงลดลงในสัดส่วนที่ไม่สูงมาก

กลุ่มที่ III ได้แก่ ข้อบกพร่อง 1) แนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม 2) แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด และ 3) แนวเชื่อมมีรอยแตก จากขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์ มีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 26.06, 20.15 และ 20.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ 4) แนวเชื่อมมีรอยเว้า/แนวเชื่อมไม่เต็ม จากขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย การติดตั้ง nozzle และขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole มีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 25.00, 16.67 และ 5.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ 5) แนวเชื่อมมีรอยแตกและ 6) แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด จากขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย มีสัดส่วนข้อบกพร่องลดลง 8.33 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน

สำหรับสัดส่วนข้อบกพร่องในกลุ่มที่ III ล้วนเป็นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นที่ผิวของแนวเชื่อมจากงานเชื่อมโลหะ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงแก้ไข โดยการสร้างแบบตรวจสอบการปฏิบัติงานในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ และทำการตรวจสอบโดยหัวหน้างานเพื่อเป็นการควบคุมให้ช่างเชื่อมทำงานได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งยังได้จัดทำแบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา โดยให้พนักงาน QC ทำการสุ่มตรวจสอบผิวแนวเชื่อมเพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ แต่เนื่องจากอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญสำหรับงานเชื่อมคือ การมีทักษะการเชื่อมของช่างเชื่อมเช่นเดียวกันกับข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพในกลุ่มที่ II ซึ่งสามารถทำการแก้ไขปรับปรุงได้โดยการฝึกอบรมช่างเชื่อม แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านระยะเวลาและทรัพยากรคน จึงไม่สามารถสร้างสื่อความรู้ที่เกี่ยวข้องกับสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องที่ผิวแนวเชื่อมได้ จึงทำให้ข้อบกพร่องจากงานเชื่อมโลหะยังเกิดขึ้นอยู่ แต่อย่างไรก็ตามสัดส่วนที่เกิดขึ้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานฯ ยอมรับได้

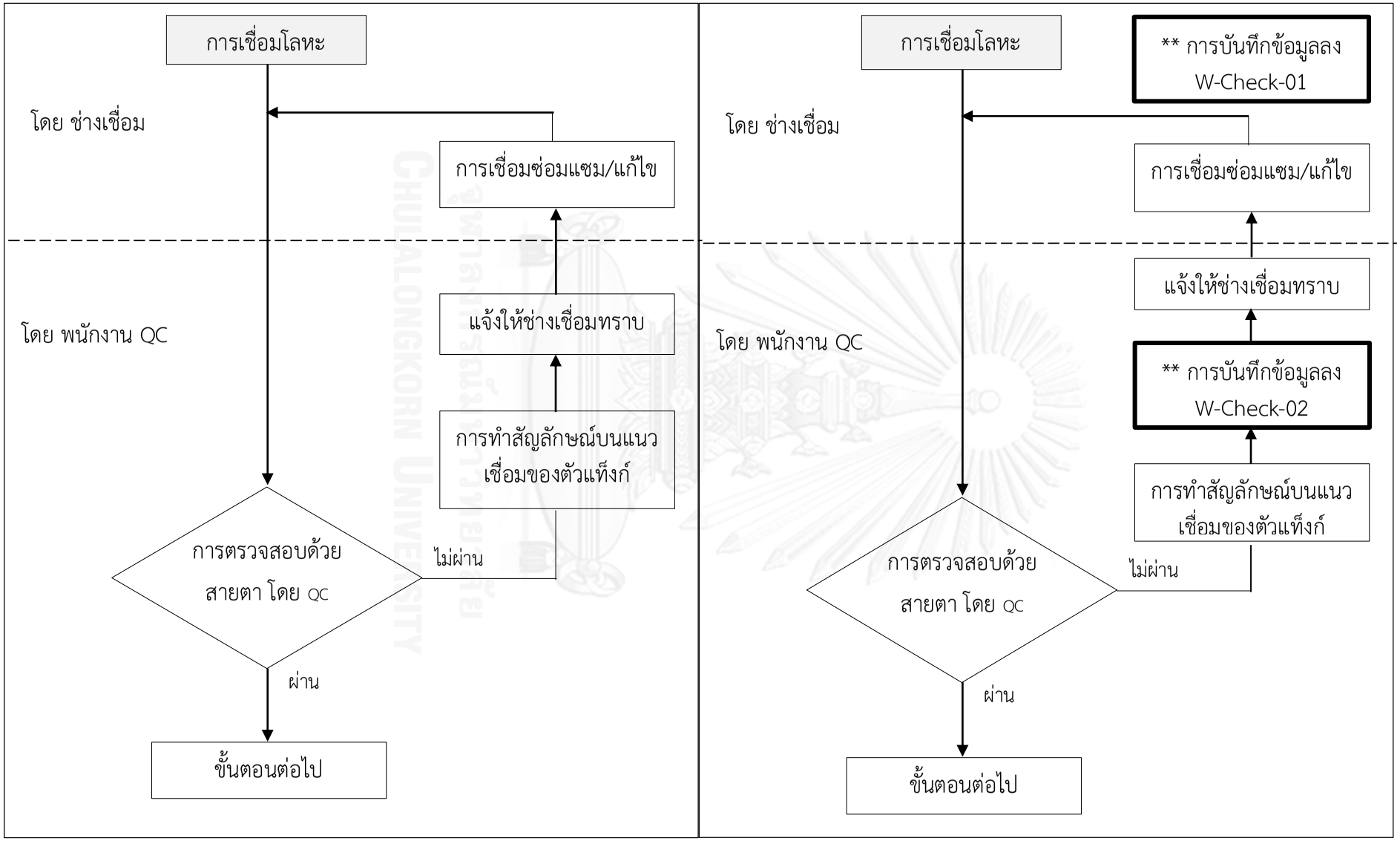
จากสัดส่วนข้อบกพร่องที่ลดลงทั้ง 3 กลุ่มสามารถอธิบายโดยสรุปได้ดัง ตารางที่ 7.2

ตารางที่ **7. 2** สรุปผลสัดส่วนข้อบกพร่องที่ลดลงแบบแบ่งกลุ่ม

กลุ่มสัดส่วนข้อบกพร่อง	สัดส่วนที่ลดลงเฉลี่ย (เปอร์เซ็นต์)
กลุ่มที่ I	58.92
กลุ่มที่ II	35.49
กลุ่มที่ III	16.27

7.2 การเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องจากการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตาในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ

จากการจัดทำเอกสารการตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมด้วยสายตา ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการติดตามผลการทำงานของช่างเชื่อม อีกทั้งยังเป็นการป้องกันการเกิดข้อบกพร่องบนแนวเชื่อมซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แท็งก์ไม่ได้คุณภาพ สำหรับขั้นตอนการทำงานของช่างเชื่อมไม่มีการเปลี่ยนแปลงการทำงาน แต่สำหรับขั้นตอนการทำงานของพนักงานควบคุมคุณภาพได้เพิ่มขั้นตอนการสุ่มตรวจการทำงานของช่างเชื่อมพร้อมทั้งบันทึกผลการปฏิบัติงานของช่างเชื่อมลงในแบบตรวจสอบการทำงาน W-Check-01 และการสุ่มตรวจข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะด้วยสายตาและบันทึกผลการตรวจสอบข้อบกพร่องลงในเอกสาร W-Check-02 โดยมีเอกสารมาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา W-STD-01 เป็นมาตรฐาน แสดงขั้นตอนการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตาก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพได้ดังภาพที่ 7.1



ภาพที่ 7.1 ขั้นตอนการตรวจสอบข้อบกพร่องจากการเชื่อมด้วยสายตา ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการรวบรวมผลการตรวจสอบการทำงานของช่างเชื่อมในงานเชื่อมโลหะ โดยประกอบด้วย ขั้นตอนการเชื่อมประกอบ การติดตั้งฝา manhole การติดตั้ง nozzle และการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย ก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต แสดงสัดส่วนการไม่ผ่านการตรวจสอบ ดังตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 สัดส่วนการไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมด้วยสายตา

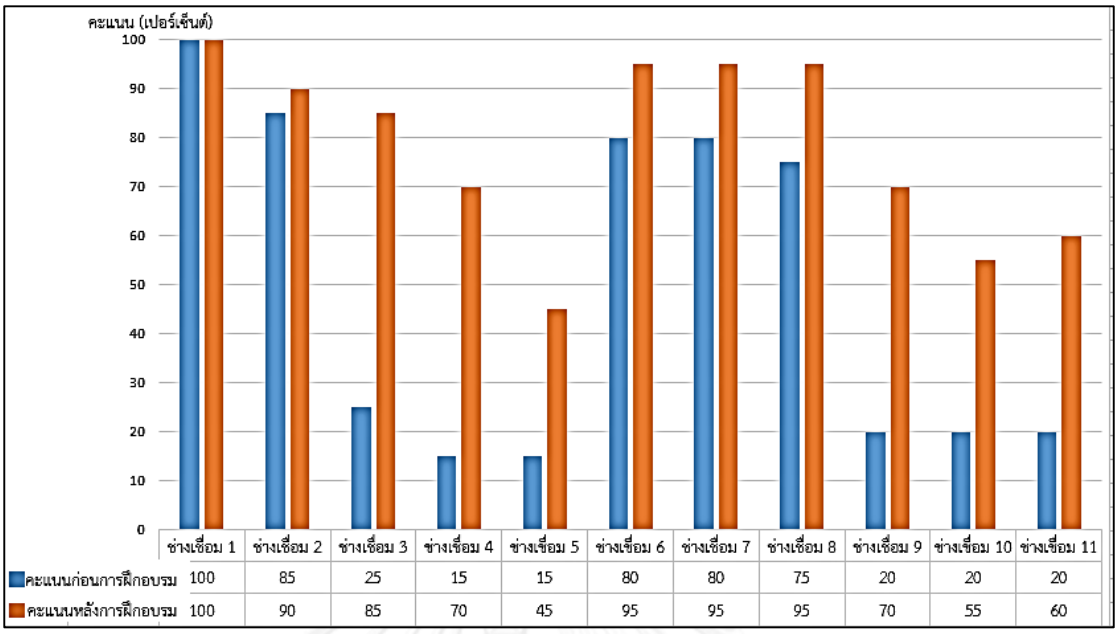
รายละเอียดการตรวจสอบ	สัดส่วนการไม่ผ่านการตรวจสอบ (เปอร์เซ็นต์)		สัดส่วนที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
ก่อนการทำงาน			
1. มีการทำความสะอาดแผ่นชิ้นงาน / ไม่มีรอยสนิม ก่อนทำการเชื่อม	6.67	4.44	2.22
2. ช่างเชื่อม แต่งกายเหมาะสมและพร้อมสำหรับการทำงานเชื่อม	15.56	4.44	11.11
3. เครื่องมือ วัสดุ/อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการเชื่อมอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน	11.11	6.67	4.44
4. มีการเตรียมเครื่องมือและลวดเชื่อม เป็นไปตาม WPS	6.67	4.44	2.23
5. เครื่องเชื่อม มีการปรับตั้งค่าต่างๆ อย่างถูกต้อง	13.33	6.67	6.67
		สัดส่วนลดลงเฉลี่ย	5.33
ขณะปฏิบัติงาน			
6. ช่างเชื่อมจัดท่าทาง ตำแหน่งและมุมเชื่อมได้ถูกต้อง	20.00	8.57	11.43
7. ช่างเชื่อม ใช้ความเร็วในการเดินหัวเชื่อมเหมาะสม	28.57	8.57	20.00
8. ช่างเชื่อม สามารถเคลื่อนที่หัวเชื่อมในทิศทางการเชื่อมที่เหมาะสม	28.57	11.43	17.14
9. ช่างเชื่อม เติมป้อนลวดเชื่อมได้อย่างถูกต้อง	22.86	11.43	11.43
10. ช่างเชื่อม สามารถเชื่อมงานได้ถูกต้องตาม WPS	28.57	5.71	22.86
		สัดส่วนลดลงเฉลี่ย	16.57
หลังการทำงาน			
11. มีการทำความสะอาดรอยเชื่อมด้วยลวดขัด	10.00	0.00	10.00
12. ผิวของแนวเชื่อมมีลักษณะเรียบและเป็นมันลื่น	10.00	0.00	10.00
13. ความกว้างของแนวเชื่อมมีขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ	6.67	0.00	6.67
14. เกร็ดของรอยเชื่อมมีขนาดเท่ากันสม่ำเสมอ	6.67	3.33	3.33
15. รอยนูนของรอยเชื่อมสูงไม่เกิน 2 มิลลิเมตร	3.33	0.00	3.33
		สัดส่วนลดลงเฉลี่ย	5.56

จากตารางที่ 7.3 พบว่า การตรวจสอบในช่วงเวลาก่อนทำการเชื่อมโลหะนั้นซึ่งเป็นการเตรียมความพร้อมก่อนทำการเชื่อม สัดส่วนความผิดพลาดจากการทำงานลดลง 5.33 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขณะทำงานมีสัดส่วนลดลง 16.57 เปอร์เซ็นต์ และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหลังจากทำการเชื่อมเสร็จมีสัดส่วนที่ลดลง 5.56 เปอร์เซ็นต์ จากผลการตรวจสอบความผิดพลาด จะพบว่าความผิดพลาดจากการทำงานลดลงทั้ง 3 ช่วงของการตรวจสอบ แสดงให้เห็นว่าช่างเชื่อมมีความตั้งใจและรับผิดชอบต่อการทำงานมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการมีความตระหนักต่อคุณภาพของแท็งก์มากยิ่งขึ้นซึ่งเป็นผลจากการฝึกอบรมโดยใช้บทเรียน OPL หรืออาจเกิดจากภายหลังการปรับปรุงคุณภาพและมีการจัดทำแบบตรวจสอบการเชื่อมแล้วให้พนักงาน QC ทำการตรวจสอบ

7.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่างเชื่อม

จากการประเมินความรู้ช่างเชื่อมด้วยแบบทดสอบ พบว่า ช่างเชื่อมมีความรู้เพิ่มขึ้นเฉลี่ย 29.55 เปอร์เซ็นต์ (จากตารางที่ 7.4) แสดงดังภาพที่ 7.2 สำหรับแบบทดสอบที่ช่างเชื่อมสามารถทำแล้วได้คะแนนสูงขึ้นมากที่สุด ได้แก่ แบบทดสอบที่เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านการเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์การเชื่อมได้อย่างถูกต้อง การเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ ข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ MIG-MAG โดยมีสัดส่วนคะแนนที่เพิ่มขึ้นคือ 54.55 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของแบบทดสอบช่างเชื่อมที่ได้คะแนนรองลงมา คือ ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ TIG การเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟของการเชื่อมแบบ MIG-MAG สัดส่วนคะแนนที่เพิ่มขึ้นคือ 45.45 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



	ช่างเชื่อม 1	ช่างเชื่อม 2	ช่างเชื่อม 3	ช่างเชื่อม 4	ช่างเชื่อม 5	ช่างเชื่อม 6	ช่างเชื่อม 7	ช่างเชื่อม 8	ช่างเชื่อม 9	ช่างเชื่อม 10	ช่างเชื่อม 11
คะแนนก่อนการฝึกอบรม	100	85	25	15	15	80	80	75	20	20	20
คะแนนหลังการฝึกอบรม	100	90	85	70	45	95	95	95	70	55	60

ภาพที่ 7.2 เปรียบเทียบสัดส่วนคะแนนจากการทดสอบความรู้ช่างเชื่อมก่อนและหลังการฝึกอบรม

นอกจากนี้ ผลการประเมินในด้านทักษะการทำงานของช่างเชื่อม พบว่า ภายหลังการปรับปรุงช่างเชื่อมสามารถเลื่อนระดับมาเป็นช่างเชื่อมระดับ 4 ได้ถึง 2 คน จากเดิมซึ่งมีเพียง 1 คน ดังนั้นช่างเชื่อมระดับ 4 จึงมีรวมกันทั้งหมด 3 คน ในส่วนของช่างเชื่อมระดับ 3 จากเดิมมี 3 คน แต่สามารถเลื่อนระดับไปเป็นช่างเชื่อมระดับ 4 ได้ 2 คน และมีช่างเชื่อมระดับ 2 สามารถเลื่อนมาเป็นช่างเชื่อมระดับ 3 ได้จำนวน 1 คน ดังนั้น จึงมีช่างเชื่อมระดับ 3 จำนวน 2 คน ส่วนช่างเชื่อมระดับ 2 จากเดิมมีจำนวน 5 คน แต่สามารถสอบใบรับรองช่างเชื่อมเลื่อนไปเป็นช่างเชื่อมระดับ 3 ได้ 1 คน และมีช่างเชื่อมจากระดับ 1 สามารถเลื่อนมาเป็นช่างเชื่อมระดับ 2 ได้ 1 คน ดังนั้นช่างเชื่อมระดับ 2 จึงมีจำนวน 5 คน และในส่วนของช่างเชื่อมระดับ 1 ก่อนการปรับปรุงมีจำนวน 2 คน ภายหลังจากการฝึกอบรมให้ความรู้ ช่างเชื่อมระดับ 1 สามารถเลื่อนเป็นช่างเชื่อมระดับ 2 ได้ 1 คน ดังนั้นจึงเหลือช่างเชื่อมระดับ 1 เพียง 1 คน แสดงผลดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7. 4 เปรียบเทียบระดับของช่างเชื่อมก่อนและหลังการฝึกอบรม

ระดับทักษะช่างเชื่อม	จำนวนช่างเชื่อม (คน)	
	ก่อนการฝึกอบรม	หลังการฝึกอบรม
ระดับที่ 1	2	1
ระดับที่ 2	5	5
ระดับที่ 3	3	2
ระดับที่ 4	1	3

จากการประเมินประสิทธิภาพช่างเชื่อมทั้งด้านความรู้และด้านทักษะการทำงาน ก่อนและหลังการฝึกอบรม สามารถสรุปเป็นประสิทธิภาพของช่างเชื่อมทั้งที่ 11 คนเพิ่มขึ้นได้ดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพช่างเชื่อมก่อนและหลังการฝึกอบรม

ช่างเชื่อม	สัดส่วนคะแนนด้านความรู้ (เปอร์เซ็นต์)		สัดส่วนคะแนนที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)	ประสิทธิภาพด้านทักษะการทำงาน		การเลื่อนระดับ
	ก่อนอบรม	หลังอบรม		ก่อนอบรม	หลังอบรม	
ช่างเชื่อม 1	100	100	0	ระดับ 4	ระดับ 4	o
ช่างเชื่อม 2	85	90	5	ระดับ 3	ระดับ 3	o
ช่างเชื่อม 3	25	85	60	ระดับ 2	ระดับ 2	o
ช่างเชื่อม 4	15	70	55	ระดับ 2	ระดับ 2	o
ช่างเชื่อม 5	15	45	30	ระดับ 1	ระดับ 1	o
ช่างเชื่อม 6	80	95	15	ระดับ 3	ระดับ 4	↑
ช่างเชื่อม 7	80	95	15	ระดับ 3	ระดับ 4	↑
ช่างเชื่อม 8	75	85	10	ระดับ 2	ระดับ 3	↑
ช่างเชื่อม 9	20	60	40	ระดับ 2	ระดับ 2	o
ช่างเชื่อม 10	20	55	35	ระดับ 1	ระดับ 2	↑
ช่างเชื่อม 11	20	60	40	ระดับ 2	ระดับ 2	o
ค่าเฉลี่ย	48.64	78.18	29.55			

จากตารางที่ 7.5 ในหัวข้อการเลื่อนระดับ สัญลักษณ์ o หมายถึง ช่างเชื่อมไม่มีการเลื่อนระดับ โดยยังอยู่ในระดับช่างเชื่อมเดิม สัญลักษณ์ ↑ หมายถึง ช่างเชื่อมมีการเลื่อนระดับที่สูงขึ้น เช่น

การเลื่อนระดับจากช่างเชื่อมระดับ 1 เป็นช่างเชื่อมระดับ 2 เป็นต้น และจากการประเมินประสิทธิภาพช่างเชื่อมด้านความรู้และด้านทักษะแล้ว สามารถสร้างตารางทักษะ skill matrix ช่างเชื่อมทั้ง 11 คน ได้ดังภาพที่ 7.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสาร การพัฒนาทักษะการฝึกอบรมช่างเชื่อมโลหะ (skill matrix)

	Requiment / ช่างเชื่อม	สมรรถภาพด้านความรู้ในการวางแผนการเชื่อม	สมรรถภาพด้านความรู้ในการปฏิบัติงานเชื่อม TIG	สมรรถภาพด้านความรู้ในการปฏิบัติงานเชื่อม MIG-MAG	ทักษะในการปฏิบัติการเชื่อม TIG	ทักษะในการปฏิบัติการเชื่อม MIG-MAG	ระดับทักษะ	แผนการฝึกอบรมบทเรียน OPL (วันที่)												
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	พนักงานเชื่อม 01						4													
2	พนักงานเชื่อม 02						3	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
3	พนักงานเชื่อม 03						2	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
4	พนักงานเชื่อม 04						2	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
5	พนักงานเชื่อม 05						1	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09			
6	พนักงานเชื่อม 06						3	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
7	พนักงานเชื่อม 07						3	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
8	พนักงานเชื่อม 08						2	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
9	พนักงานเชื่อม 09						2	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12
10	พนักงานเชื่อม 10						1	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09			
11	พนักงานเชื่อม 11						2	W-TP-01	W-TV-01	W-TV-02	W-TV-03	W-TV-04	W-TV-05	W-TV-06	W-TV-07	W-TV-08	W-TV-09	W-TV-10	W-TV-11	W-TV-12

ผู้ประเมิน

วันที่ประเมิน

เกณฑ์การประเมิน

- ได้คะแนนประเมิน 0-25 เปอร์เซ็นต์
- ได้คะแนนประเมิน 25-50 เปอร์เซ็นต์
- ได้คะแนนประเมิน 50-75 เปอร์เซ็นต์
- ได้คะแนนประเมิน 75-100 เปอร์เซ็นต์

ภาพที่ 7.3 ตารางทักษะ skill matrix หลังการฝึกอบรมช่างเชื่อม

7.4 การเปรียบเทียบคะแนน RPN ก่อนและหลัง

จากการประเมินข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA และทำการวิเคราะห์ค่า RPN ก่อนการปรับปรุงการผลิต จากนั้นดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต โดยวิธีการในการปรับปรุงแต่ละข้อบกพร่องและสาเหตุการเกิดข้อบกพร่อง เป็นวิธีการลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องหรือการเพิ่มความสามารถในการตรวจจับหรือทั้งการลดโอกาสการเกิดข้อบกพร่องและเพิ่มความสามารถในการตรวจจับไปพร้อมกัน สามารถอธิบายการปรับปรุงแต่ละสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องได้ดังตารางที่ 7.6

ตารางที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกับค่า RPN

ข้อบกพร่อง	สาเหตุ	เสนอแนวทางการแก้ไข	ความสัมพันธ์กับค่า RPN
1. ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ โดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบ	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องและเพิ่มความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง
	พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	การอบรมพนักงานเกี่ยวกับความสำคัญในด้านคุณภาพของแท็งก์	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง
	ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	การสร้างมาตรฐานวิธีการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องและเพิ่มความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง
	ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาด	การจัดทำการบันทึกข้อมูลการทำงานจากแบบตรวจสอบการทำงาน และควรวางแผนการตรวจสอบและเก็บข้อมูล	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องและเพิ่มความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง
2. เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	การอบรมพนักงานและวัดประสิทธิภาพการทำงานและความรู้ของพนักงาน	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง
	ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	การฝึกอบรมพนักงานเกี่ยวกับความรู้ในการเชื่อมโลหะ	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง

ตารางที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางการปรับปรุงแก้ไขกับค่า RPN

ข้อบกพร่อง	สาเหตุ	เสนอแนวทางการแก้ไข	ความสัมพันธ์กับค่า RPN
2.เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ (ต่อ)	ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	การจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องในขั้นตอนการเชื่อมประกอบโดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบการทำงาน	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องและเพิ่มความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง
3. ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	การฝึกอบรมพนักงานและวัดประสิทธิภาพการทำงานและความรู้ของพนักงาน	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง
	การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	การฝึกอบรมพนักงานและวัดประสิทธิภาพการทำงานและความรู้ของพนักงาน	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง
4. เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาด ไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	การอบรมให้ความรู้แก่พนักงานเกี่ยวกับความสำคัญในด้านคุณภาพของแท็งก์	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง
	ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนการติดตั้ง	การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ โดยให้หัวหน้างานเป็นผู้ตรวจสอบ	สามารถลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องและเพิ่มความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง

จากตารางที่ 7.6 เมื่อดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้วทำการวิเคราะห์ค่า RPN หลังการปรับปรุง พบว่า ค่า RPN ลดลงตั้งแต่ 40.0 เปอร์เซ็นต์ ถึง 87.5 เปอร์เซ็นต์ โดยค่า RPN มีค่าลดลงเฉลี่ย 65.37 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.7 ค่า RPN ก่อนและหลังการปรับปรุง

ขั้นตอน	ลักษณะข้อบกพร่อง	สาเหตุการเกิด	ค่า RPN		สัดส่วน RPN ที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
			ก่อนปรับปรัง	**หลังปรับปรุง**	
1.การเตรียมแผ่นโลหะ	ชนิดแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานตรวจสอบไม่รอบคอบ	360	162	55.00
		พนักงานไม่ตระหนักและให้ความสำคัญด้านคุณภาพแท็งก์	360	144	60.00
		ไม่มีมาตรฐานการตรวจสอบการเบิกแผ่นโลหะ	504	162	67.86
		ไม่มีการเก็บข้อมูลความผิดพลาด	504	189	62.50
2.การเชื่อมประกอบแท็งก์	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	360	216	40.00
		ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	630	216	65.71
		ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	432	54	87.50
		ไม่มีการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม	432	162	55.00
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	360	108	70.00
		การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	360	162	70.00
3.การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ	พนักงานขาดความชำนาญและทักษะในการเชื่อมโลหะ	360	108	82.86
		ไม่มีการฝึกอบรมขั้นตอนการเชื่อมที่ถูกต้อง	630	108	50.00
		ไม่มีการตรวจสอบระหว่างการทำงานจากหัวหน้างาน	432	216	70.00
	ผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก	พนักงานขาดทักษะและความชำนาญในการเชื่อมโลหะ	360	108	70.00
		การเคลื่อนที่หัวเชื่อมด้วยความเร็วสูง	360	108	64.00
4.การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ	เตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ไม่ตรงตามต้นแบบ	พนักงานเบิกอุปกรณ์ผิดพลาดไม่มีการตรวจสอบอย่างรอบคอบ	450	162	88.00
		ไม่มีขั้นตอนการตรวจสอบอุปกรณ์ ก่อนการติดตั้ง	630	54	55.00

บทที่ 8

สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปัญหาคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์ พบว่า เกิดปัญหาแท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบแบบไม่ทำลาย NDT เป็นสัดส่วนที่สูง จึงทำการศึกษาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาพบว่า เกิดจากการที่แท็งก์ไม่มีคุณภาพ จึงดำเนินการศึกษาสาเหตุที่แท้จริงเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพแท็งก์ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัย คือ การจัดตั้งทีมงานเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตแท็งก์ร่วมกันกับทางโรงงานกรณีศึกษา จากนั้น ทำการศึกษาข้อมูลจากทางหน่วยงานตรวจสอบ ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตโดยใช้ผังแสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง แล้วทำการวิเคราะห์ FMEA พบสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงเกินกว่าที่ยอมรับได้ คือ 294 คะแนน อยู่ 17 สาเหตุ จากลักษณะข้อบกพร่อง 6 ประเภท ใน 4 ขั้นตอนการผลิต โดยมี 2 ขั้นตอนคือ การเชื่อมประกอบแท็งก์และการเชื่อมติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย ที่มีข้อบกพร่องประเภทเดียวกันคือ เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพและผิวแนวเชื่อมมีรอยแตก จึงทำการประชุมกับคณะทีมงานและตกลงกันว่า ข้อบกพร่องที่เหมือนกันใน 2 ขั้นตอนการผลิตดังกล่าว จะทำการปรับปรุงแก้ไขไปพร้อมกัน เนื่องจากเป็นข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อมโลหะ ดังนั้น จะเหลือข้อบกพร่องที่จะต้องทำการปรับปรุงจำนวน 4 ข้อบกพร่อง จาก 11 สาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง

กำหนดแนวทางการปรับปรุงคุณภาพ โดยการจัดทำแผนคุณภาพ (quality plan) เริ่มจากการวิเคราะห์คุณลักษณะคุณภาพของแต่ละขั้นตอนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของแท็งก์ เพื่อกำหนดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับการควบคุมการทำงานในการผลิตแท็งก์ โดยสามารถจัดทำแผนคุณภาพที่ครอบคลุมทั้ง 13 ขั้นตอน ในกระบวนการผลิตแท็งก์ ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีพารามิเตอร์และวิธีการสำหรับการควบคุมคุณภาพให้อยู่ในกรอบที่กำหนดที่แตกต่างกัน โดยการกำหนดแนวทางและวิธีการทำงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้ คือ การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน การจัดทำมาตรฐานวิธีการทำงาน การจัดทำเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่อง การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อมโดยการสร้างระบบการฝึกอบรม และการกำหนดแผนควบคุมคุณภาพ (control plan) โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1) การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงาน เนื่องจากการตรวจสอบการทำงานเป็นวิธีการในการควบคุมการทำงานของพนักงานในแต่ละขั้นตอนการผลิตให้มีคุณภาพอยู่ในกรอบของแผนคุณภาพ โดยจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในทุกขั้นตอนของการผลิต อีกทั้งเพื่อเป็นการรวบรวมข้อมูลความผิดพลาดจากการทำงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง สามารถจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนต่างๆ ได้ทั้งหมด 6 ฉบับ และเอกสารในการเบิกวัสดุ 2 ฉบับ รวมเป็น 8 ฉบับ การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตด้วยวิธีนี้เป็นการเพิ่มโอกาสในการตรวจจับหรือพบความผิดพลาดจากการทำงานซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิดข้อบกพร่อง อีกทั้งยังเป็นการลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องอีกด้วย

2) การจัดทำมาตรฐานการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ 1 ฉบับ คือ เอกสาร P1-WI-01 (แสดงในภาคผนวก จ) จากการสร้าง WI สามารถลดข้อบกพร่องและความผิดพลาดจากการทำงานในขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะลงได้เฉลี่ย 49.08 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยสัดส่วนข้อบกพร่องแผ่นโลหะไม่ตรงตามต้นแบบและขนาดบากร่องไม่ได้ระยะ ลดลง 66.67 และ 3.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3) การจัดทำเอกสารการตรวจสอบการทำงานของช่างเชื่อม (เอกสาร W-Check-01) และเอกสารการตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตาในงานเชื่อมโลหะ (เอกสาร W-Check-02) อย่างละ 1 ฉบับ รวมเป็น 2 ฉบับ และจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (เอกสาร W-STD-01) 1 ฉบับ นอกจากนี้ ทำการจัดทำมาตรฐานวิธีการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (เอกสาร W-WI-01) สำหรับเป็นคู่มือการทำงานของพนักงาน QC

เอกสารแบบตรวจสอบการทำงานของช่างเชื่อมแบ่งการตรวจสอบออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะก่อนการเชื่อม ระยะปฏิบัติการเชื่อม และระยะหลังการทำงานเชื่อม ผลการตรวจสอบพบว่าความผิดพลาดจากการทำงานของช่างเชื่อมในระยะก่อนการเชื่อมของช่างเชื่อมลดลงเฉลี่ย 5.33 เปอร์เซ็นต์ โดยช่างเชื่อมมีความพร้อมในการทำงานมากยิ่งขึ้น ทั้งการแต่งกายให้เหมาะสมกับการทำงานเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ อีกทั้ง การปรับตั้งค่าต่างๆ ที่เครื่องเชื่อมก็มีความถูกต้องมากขึ้น เป็นผลมาจากมีการเพิ่มขั้นตอนการตรวจสอบการทำงานจากหัวหน้างาน ทำให้ช่างเชื่อมให้ความตระหนักต่อการทำงานที่ถูกต้อง ในระยะปฏิบัติการเชื่อม ข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดจากการทำงานลดลงเฉลี่ย 16.57 เปอร์เซ็นต์ การทำงานของช่างเชื่อมที่สามารถลดความผิดพลาดลงได้มากที่สุดคือ ช่างเชื่อมสามารถปฏิบัติการเชื่อมได้ถูกต้องตาม WPS รองลงมาคือ ช่างเชื่อมสามารถใช้ความเร็วในการเดินหัวเชื่อมได้อย่างเหมาะสมและสามารถเคลื่อนที่หัวเชื่อมในทิศทางการเชื่อมที่เหมาะสม ตามลำดับ เนื่องจากมีการฝึกอบรมโดยใช้สื่อ OPL ซึ่งมี

ความตรงประเด็นกับสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดในการทำงาน เมื่อใช้ OPL ในการอบรมช่างเชื่อมจึงทำให้ช่างเชื่อมมีความเข้าใจสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องมากยิ่งขึ้น อีกทั้งผู้ให้การฝึกอบรมช่างเชื่อม คือช่างเชื่อมที่ทำงานร่วมกันในโรงงานฯ (ช่างเชื่อมที่มีระดับช่างเชื่อมสูงกว่า) จึงทำให้ช่างเชื่อมไม่เกิดความเกร็ง เมื่อมีคำถามหรือข้อสงสัยก็สามารถสอบถามผู้ฝึกอบรมได้ทันที จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในระยะการปฏิบัติงานสามารถลดลงได้ในสัดส่วนที่สูง ในระยะหลังการทำงานเชื่อม เนื่องจากในระยะที่มีการฝึกอบรม ได้มีการให้ความรู้ช่างเชื่อมเกี่ยวในด้านคุณภาพของการเชื่อมโลหะ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทำงานภายหลังการเชื่อมด้วย จึงทำให้ช่างเชื่อมเกิดความตื่นตัวต่อการทำงานในระยะดังกล่าวมากยิ่งขึ้น โดยข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดจากการทำงานในระยะหลังการทำงานเชื่อมลดลงเฉลี่ย 5.56 เปอร์เซ็นต์

4) การสร้างระบบการฝึกอบรมและพัฒนาประสิทธิภาพช่างเชื่อม โดยเริ่มต้นจากการค้นหาลักษณะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์ของทางโรงงานฯ จากนั้นจัดทำแบบทดสอบความรู้จำนวน 20 ข้อ เพื่อเป็นเครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพด้านความรู้ของช่างเชื่อม ส่วนเครื่องมือในการวัดประสิทธิภาพของช่างเชื่อมองทางโรงงานบกพร่องที่ไม่สามารถตรวจพบได้ในขั้นตอนการผลิต โดยพบว่าสาเหตุที่ประสิทธิภาพช่างเชื่อมด้านทักษะการทำงาน ทำโดยการแบ่งระดับช่างเชื่อมออกเป็น 4 ระดับ โดยใช้เกณฑ์ความสามารถในการเพิ่มศักยภาพหรือถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้อื่นและการได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อมเป็นเกณฑ์ จากนั้นให้หัวหน้าช่างเชื่อม หัวหน้างานและวิศวกรโรงงานร่วมกันทำการประเมินประสิทธิภาพด้านทักษะการทำงานของช่างเชื่อมแต่ละคน ก่อนเริ่มการฝึกอบรม

ในส่วนของระบบการฝึกอบรมจัดทำโดยการสร้างสื่อความรู้สำหรับระบบการฝึกอบรมในรูปแบบของ OPL ซึ่งประกอบด้วย วิดีทัศน์และแผ่นภาพ หัวข้อหรือประเด็นความรู้ของบทเรียน OPL ได้จากการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะ คือ ข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ตรวจพบได้จากการตรวจสอบ NDT จากหน่วยงานตรวจสอบเท่านั้น ไม่สามารถตรวจพบได้ในขั้นตอนการผลิต โดยข้อมูลจากหน่วยงานตรวจสอบพบว่าโรงงานฯ เกิดข้อบกพร่องทั้ง 4 ประเภท คือ รูพรุน รอยแตก การเชื่อมไม่เต็มและการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ ที่เป็นสาเหตุทำให้เนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ จึงทำการวิเคราะห์สาเหตุการเกิดข้อบกพร่องทั้ง 4 เพื่อกำหนดเป็นหัวข้อประเด็นสำคัญของ OPL โดยสามารถจัดทำ OPL ได้ทั้งหมด 13 เรื่อง จากนั้นทำการวางแผนการฝึกอบรม และดำเนินการฝึกอบรมช่างเชื่อมแต่ละคน

โดยภายหลังการฝึกอบรม พบว่า ช่างเชื่อมทั้งหมดมีประสิทธิภาพในด้านความรู้เฉลี่ยจากเดิม 48.64 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 76.36 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ ช่างเชื่อมสามารถยกระดับความสามารถด้านทักษะการเชื่อม ได้แก่ ช่างเชื่อมระดับ 4 (คือ ช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อมและเป็นผู้ที่สามารถสอนงานแก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆ ได้) จากเดิมมีจำนวน 1 คน ภายหลังการฝึกอบรมช่างเชื่อมระดับ 4 มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 3 คน จากการเลื่อนระดับจากช่างเชื่อมระดับ 3 จึงทำให้โรงงานกรณีศึกษามีช่างเชื่อมที่มีศักยภาพในการถ่ายทอดความรู้หรือสอนงานแก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆ ได้ถึง 3 คน

ในส่วนช่างเชื่อมระดับ 3 (คือ ช่างเชื่อมที่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อมแต่ยังไม่สามารถสอนงานแก่ช่างเชื่อมคนอื่นๆ ได้) จากเดิมมีจำนวน 3 คน มีช่างเชื่อมจำนวน 2 คน สามารถเลื่อนไปเป็นช่างเชื่อมระดับ 4 และมีช่างเชื่อมระดับ 2 จำนวน 1 คนที่สามารถสอบผ่านและได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม ทำให้สามารถเลื่อนมาเป็นช่างเชื่อมระดับ 3 ได้ รวมจึงมีช่างเชื่อมระดับ 3 จำนวน 2 คน นอกจากนี้ ช่างเชื่อมระดับ 1 (คือ ช่างเชื่อมที่ยังไม่สามารถปฏิบัติงานได้โดยลำพัง ต้องมีหัวหน้างานคอยควบคุม) สามารถเลื่อนระดับเป็นช่างเชื่อมระดับ 2 (คือ ช่างเชื่อมที่สามารถปฏิบัติงานได้โดยลำพังแต่ยังไม่ได้รับการรับรองมาตรฐานช่างเชื่อม ได้จำนวน 1 คน

การจัดทำตาราทักษะ (skill matrix) เพื่อแสดงประสิทธิภาพของช่างเชื่อมแต่ละคน โดยใช้ผลจากการประเมินประสิทธิภาพด้านความรู้และทักษะการเชื่อมที่กล่าวข้างต้น สามารถจัดทำตารางทักษะ skill matrix สำหรับพนักงานของโรงงานฯ พร้อมแผนการฝึกอบรมพนักงานแต่ละคน ตารางทักษะ (skill matrix) ได้ ซึ่งช่วยในการวางแผนการทำงานของช่างเชื่อมแต่ละคนว่าเหมาะสมกับงานในขั้นตอนการผลิตใด อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่จะทำให้หัวหน้างานทราบว่าช่างเชื่อมแต่ละคนยังขาดความรู้หรือทักษะในด้านใด

ผลการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีการดังที่กล่าวมา สามารถลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการผลิตได้เฉลี่ย 27.26 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังสามารถทำให้การตรวจสอบแท็งก์แบบไม่ทำลาย NDT การไม่ผ่านการตรวจสอบลดลงเฉลี่ย 37.50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA และประเมินค่า RPN พบว่า ค่า RPN ลดลงเฉลี่ย 65.37 เปอร์เซ็นต์

8.2 ข้อเสนอแนะ

1) สำหรับการปรับปรุงข้อบกพร่องบนผิวแนวเชื่อม ในงานวิจัยนี้ทำการปรับปรุงโดยการสร้างแบบตรวจสอบการทำงานโดยหัวหน้างานในขณะที่ช่างเชื่อมกำลังปฏิบัติงาน และแบบตรวจสอบข้อบกพร่องบนแนวเชื่อมด้วยสายตาโดยให้พนักงาน QC ได้ทำการสุ่มตรวจสอบ เนื่องจากเป็นข้อบกพร่องที่สามารถตรวจพบได้ด้วยสายตาในขั้นตอนการผลิตและภายหลังการปรับปรุงสัดส่วนการเกิดข้อบกพร่องลดลงอยู่ในระดับที่ทางโรงงานฯ ยอมรับได้ แต่ในอนาคตสามารถทำการปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดสัดส่วนการเกิดข้อบกพร่องได้อีก โดยการฝึกอบรมช่างเชื่อมเช่นเดียวกับการปรับปรุงข้อบกพร่องเนื้อเชื่อมไม่ได้คุณภาพ โดยหัวข้อบทเรียน OPL จะได้จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องบนผิวแนวเชื่อม ได้แก่ สาเหตุการเกิดแนวเชื่อมมีรอยเว้า/เชื่อมไม่เต็ม แนวเชื่อมมีรอยแตก แนวเชื่อมไม่ได้ขนาด เป็นต้น

2) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) ในส่วนของการประเมินค่าโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence, O) งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ระดับคะแนนเท่ากับ 7 ซึ่งเป็นโอกาสในการเกิดข้อบกพร่องที่ระดับปานกลาง สำหรับการวิจัยที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตที่ต้องการความเข้มงวดของโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง สามารถเลือกใช้ค่าโอกาสในการเกิดที่ระดับ 5 หรือ 6 ได้

3) สำหรับการสร้างระบบการฝึกอบรมในงานวิจัยนี้ ได้ใช้สื่อความรู้บทเรียนเฉพาะเรื่อง (OPL) ที่เป็นภาพเคลื่อนไหวหรือวีดิทัศน์ เพื่อสอนงานที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคและวิธีการการเชื่อมโลหะและใช้แผ่นภาพในการอธิบายจุดสำคัญที่ปัจจัยในการเชื่อมโลหะแก่ช่างเชื่อม โดยเหตุผลที่เลือกใช้บทเรียน OPL เพราะในโรงงานฯ ที่ทำการวิจัยมีช่างเชื่อมหรือพนักงานที่เป็นสัญชาติอื่นๆ นอกเหนือจากสัญชาติไทยซึ่งการใช้ภาพเคลื่อนไหวหรือแผ่นภาพในการฝึกอบรมจึงไม่เป็นอุปสรรคในการสื่อสารเท่าใดนัก สำหรับงานวิจัยอื่นๆ ที่ทำในโรงงานกรณีศึกษาที่มีพนักงานเป็นคนสัญชาติไทยอาจเลือกใช้สื่อความรู้อื่นๆ ที่เหมาะสมได้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการฝึกอบรมสูงที่สุด

4) ในการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่ต้องอาศัยทักษะในการทำงาน ทางโรงงานฯ ต้องมีการฝึกอบรมพนักงานอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งต้องปรับปรุงและพัฒนาสื่อความรู้ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิต โดยสภาพปัญหานั้นได้จากการบันทึกตรวจสอบข้อมูลการทำงานและการตรวจสอบข้อบกพร่องจากการทำงาน ตามหลักการของ PDCA แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ มีระยะเวลาจำกัดในการปรับปรุงคุณภาพของโรงงานฯ จึงกระทำได้เพียง C, A และ P คือ การตรวจสอบการทำงานในขั้นตอนการผลิต (Check, C) จากการสร้างแบบตรวจสอบการทำงาน การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขเพื่อลด

ข้อบกพร่อง (Act, A) และการวางแผนการทำงาน (Plan, P) โดยกำหนดมาตรการควบคุมคุณภาพ (control plan) และ แผนคุณภาพ (quality plan) เพื่อใช้เป็นกรอบให้กระบวนการผลิตอยู่ภายใต้คุณภาพที่ยอมรับได้

5) จากสาเหตุ การไม่มีเครื่องมือในการตรวจสอบแนวเชื่อม จากการวิเคราะห์การเกิดข้อบกพร่องในขั้นตอนการเชื่อมโลหะ งานวิจัยนี้ ไม่สามารถทำการแก้ไขสาเหตุดังกล่าวโดยการจัดหาซื้อเครื่องมือมาให้ทางโรงงานฯ ได้เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ จึงได้จัดทำเป็นข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานฯ ในการจัดหาเครื่องมือสำหรับการตรวจวัดแนวเชื่อม และตรวจวัดขนาดของข้อบกพร่อง ดังนี้

5.1) เครื่องมือวัด automatic weld size gauge

เป็นเครื่องมือวัดขนาดความกว้างของแนวเชื่อม สามารถช่วยในการตรวจสอบข้อบกพร่องแนวเชื่อมไม่ได้ขนาดจากขั้นตอนการเชื่อมโลหะได้ อีกทั้งยังเหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา เนื่องจากโรงงานฯ ให้ความสำคัญความสวยงามของแนวเชื่อม ดังนั้น การตรวจสอบแนวเชื่อมเพื่อให้มีขนาดที่เท่ากันสม่ำเสมอทั้งแนว จึงควรใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวเป็นตัวช่วย (ข้อมูลเครื่องมือแสดงในภาคผนวก ซ)

5.2) เครื่องมือ pocket bridge cam gauge

สำหรับขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ เพื่อให้การบากร่องมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐานใน WPS การใช้เครื่องมือในการวัดจะทำให้เกิดความถูกต้องและแม่นยำ (ข้อมูลเครื่องมือแสดงในภาคผนวก ซ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมการขนส่งทางบก, กระทรวงคมนาคม (2546). ข้อกำหนดการขนส่งสินค้าอันตรายทางถนนของประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม (2553). คู่มือการจัดการสารเคมีอันตรายสูง กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid). กรุงเทพฯ.

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2550). หลักการควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2551). FMEA การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

เกษมชัย บุญเพ็ญ (2540). สมรรถภาพช่างฝีมือเชื่อมโลหะที่พึงประสงค์ตามความต้องการของสถานประกอบการอู่เรือเหล็กในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาบริหารเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ดุสิต ขาวเหลือง (2554). "การฝึกอบรมที่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะ." วารสารการศึกษาเพื่อพัฒนาสังคม 1(7).

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม มติคณะกรรมการวัตถุอันตราย (2545). เรื่องการขนส่งวัตถุอันตรายทางบก. ราชกิจจานุเบกษา, 119.

ประทีป ระงับทุกข์ (2545). ช่างฝีมืองานเชื่อมโลหะที่พึงประสงค์ของสถานประกอบการ, วิทยานิพนธ์ปริญญากมหาบัณฑิต ภาควิชาบริหารเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

พัทธ์ชลิต วีราภรณ์กุลและจิตรา รู้กิจการพานิช (2554). การเพิ่มขีดความสามารถในการเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูปของแรงงานพม่าโดยใช้หลักการที่ทุกคนมีส่วนร่วม. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ.2554, กรุงเทพฯ, 20-21 ตุลาคม.

ไพโรจน์ พ่อค้า ภัทราพรรณ ทิพย์เกตุและมลฤดี ดวงจันทร์ (2554). กรณีศึกษาการคัดเลือกพนักงานเชื่อมโลหะไฟฟ้าของ บริษัท ซีบีไอ (ประเทศไทย) จำกัด, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต กลุ่มวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ฟูจิอิ ซาโตะ (2530). การทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing). โครงการสนับสนุนเทคนิคอุตสาหกรรม, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ภานุเทพ อธิปัญญาพันธุ์ (2555). การปรับปรุงมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพในการผลิตสีผง, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วัชฤทธิ์ เอกนิพิธและจิตรา รู้กิจการพานิช (2554). "การพัฒนาระบบการฝึกอบรมความสามารถสำหรับพนักงานฝ่ายผลิต ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ประเภทปั๊มขึ้นรูป." วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2(21).

วิลันดา เริงโรจน์สรากุล (2554). การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้าเคมีของการผลิตวงจรไฟฟ้ารวม, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สมชัย เถาสมบัติ (2529). เทคโนโลยีการเชื่อมและการประสาน. กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ไนเด็ดท์บุ๊คส์.

สาโรช บัวบูชา (2541). การพัฒนาระบบประกันคุณภาพการผลิตสำหรับกระบวนการผสมยางในอุตสาหกรรมผลิตยางรถ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สำนักควบคุมวัตถุอันตราย กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2547). ประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย เรื่อง การขนส่งวัตถุอันตรายทางบก พ.ศ. 2545. กรุงเทพฯ, สมาคมผู้ประกอบธุรกิจวัตถุอันตราย (HASLA).

หทัยวงศ์ งามวุฒิวงศ์ (2552). การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ชุดห้องครัวแบบถอด-ประกอบ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรรถพล ฤทธิภักดี (2544). การปรับปรุงคุณภาพสำหรับกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อัจฉรียา วังวิเศษ (2553). การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผสมสีในการผลิตสีผง, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

“MIG Welding Tips” [Online]. Available: http://www.weldingtipsandtricks.com/Mig-welding-tips.html.

“MIG Welding Tutorial” [Online]. Available: http://www.mig-welding.co.uk/.

“TIG Welding Aluminum for Beginners: Steps 3 & 4” (2013). [Online]. Available: http://www.millerwelds.com/ resources/articles/TIG-gtaw-tips-aluminum-beginners-parts-three-four/ 2013.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ความหมายของแท็งก์สำหรับบรรจุสารเคมีอันตรายประเภทสารกัดกร่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รหัสแท็งก์ L4BN

มีความหมายว่า

L	คือ	แท็งก์สำหรับการบรรจุสารที่อยู่ในสภาวะของเหลวหรือของแข็ง โดยในขณะการดำเนินการขนส่งบนท้องถนนสารเคมีอันตรายนั้นอยู่ในสถานภาพหรือสถานะของเหลว
4	คือ	ค่าความดันคำนวณหรือค่าความดันทดสอบที่ต่ำที่สุด มีค่าเท่ากับ 4 บาร์
B	คือ	แท็งก์สำหรับบรรจุวัตถุอันตรายที่มีช่องสำหรับการเปิดบรรจุหรือช่องของการขนถ่าย อยู่ในตำแหน่งด้านล่างของตัวแท็งก์ ซึ่งต้องติดตั้งกับอุปกรณ์ตัดระบบจำนวน 3 ชุด
N	คือ	แท็งก์สำหรับบรรจุวัตถุอันตรายที่มีวาล์วนิรภัยและต้องไม่ปิดสนิท อย่างที่ไม่มีอะไรเข้าออกได้ อาจมีวาล์วสุญญากาศ (Vacuum Valves) ติดตั้งอยู่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

การจำแนกประเภทของวัตถุอันตราย 9 ประเภท โดยประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย ปี พ.ศ. 2545

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การจำแนกประเภทของวัตถุอันตราย 9 ประเภท โดยประกาศมติคณะกรรมการวัตถุอันตราย ปี พ.ศ. 2545

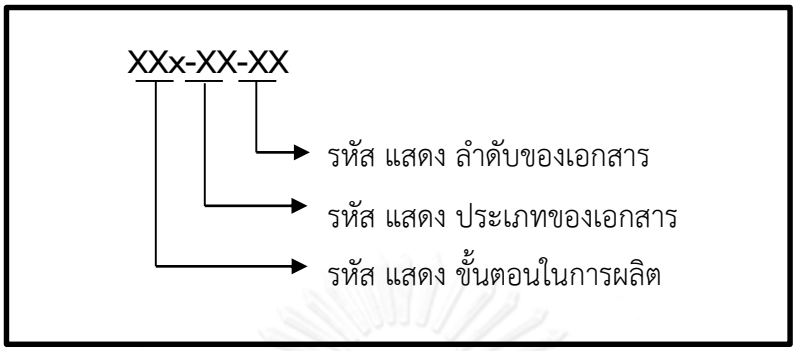
1) วัตถุอันตรายประเภทที่ 1: สารและสิ่งของระเบิด คือ สารหรือสิ่งของที่สามารถระเบิดได้ด้วยตัวเอง หรือสารหรือสิ่งของที่ผลิตมาเพื่อมีวัตถุประสงค์ทำให้เกิดการระเบิดหรือดอกไม้ไฟ
2) วัตถุอันตรายประเภทที่ 2: ก๊าซ ประกอบด้วยก๊าซอัด ก๊าซที่อยู่ในสภาพของเหลว ก๊าซที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวที่ต้องทำความเย็น ก๊าซในสารละลาย และก๊าซตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไปผสมรวมกับไอของสารมากกว่าหนึ่งอย่าง
3) วัตถุอันตรายประเภทที่ 3: ของเหลวไวไฟ คือ ของเหลว ของเหลวผสมหรือของเหลวที่มีสารที่ปกติเป็นของแข็งละลายอยู่หรือของเหลวที่มาสารแขวนลอยผสม ซึ่งสามารถให้ไอระเหยที่ติดไฟได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60.5 องศาเซลเซียส โดยวิธีการทดสอบแบบ closed-cup หรือต่ำกว่า 65.5 องศาเซลเซียส โดยวิธีการทดสอบแบบ open-cup อีกทั้งยังรวมถึง ของเหลวที่ขณะขนส่งต้องถูกทำให้มีอุณหภูมิเท่ากับหรือมากกว่าจุดวาบไฟของของเหลวนั้น และสารหรือสิ่งของที่ทำให้มีอุณหภูมิอยู่ในสถานะของเหลวขณะทำการขนส่ง ซึ่งจะให้ไอระเหยของสารที่สามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิไม่มากกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่จะสามารถใช้ในการขนส่งได้
4) วัตถุอันตรายประเภทที่ 4: ของแข็งไวไฟ หมายถึง ของแข็ง ที่ในระหว่างการขนส่งสามารถลุกไหม้ได้ง่าย หรือสามารถลุกไหม้ขึ้นได้จากการเสียดสี ของแข็งที่สามารถติดไฟได้ง่ายในอากาศ หรือสามารถทำปฏิกิริยาได้ด้วยตัวเองซึ่งก่อให้เกิดปฏิกิริยาการคายความร้อนออกมา หรือสารที่เมื่อสัมผัสกับน้ำแล้วจะให้ก๊าซที่ไวไฟ
5) 6:วัตถุอันตรายประเภทที่ 5: สารออกซิไดซ์ หมายถึง สารที่ปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมาซึ่งสามารถก่อให้เกิดการลุกไหม้ของวัสดุอื่นๆได้
6) วัตถุอันตรายประเภทที่ สารพิษและสารติดเชื้อ โดยสารพิษ หมายถึง สารที่มีความเป็นอันตรายถึงชีวิต หรืออาจเกิดการบาดเจ็บขั้นร้ายแรง หรือเป็นอันตรายต่อสุขภาพของคน โดยอาจเข้าสู่ร่างกายด้วยการกลืน สูดดม หรือจากการสัมผัสทางผิวหนัง ส่วน สารติดเชื้อ คือ สารที่รู้หรือความว่ามีเชื้อโรค หรือสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กรวมอยู่ หรือเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม ซึ่งเป็นสาเหตุให้สัตว์หรือมนุษย์สามารถติดเชื้อได้
7) วัตถุอันตรายประเภทที่ 7: วัสดุกัมมันตรังสี หมายถึง วัสดุที่มีนิวไคลด์รังสี โดยมีความเข้มข้นของค่ากัมมันตรังสีและค่ากัมมันตรังสีภาพรวมเกินค่าที่กำหนดไว้
8) วัตถุอันตรายประเภทที่ 8: สารกัดกร่อน หมายถึง สารเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรงเมื่อมีการสัมผัสกับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต หรือ หากเกิดการรั่วไหลจะเกิดความเสียหายต่อวัสดุ พาหนะขนส่ง เป็นต้น
9) วัตถุอันตรายประเภทที่ 9: วัตถุอันตรายอื่นๆ หมายถึง สารหรือสิ่งของที่ในระหว่างการขนส่งอันตรายที่เกิดขึ้นนั้นไม่เข้าข่ายสินค้าอันตรายประเภทอื่น

ภาคผนวก ค

บัญชีรายการเอกสารในการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บัญชีรายการเอกสารในการดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตแท็งก์



1. สำหรับเอกสารแผนคุณภาพ (quality plan) ในกระบวนการผลิต คือ QP-xx
2. สำหรับขั้นตอนการเบิกวัสดุ ใช้รหัสขึ้นต้นด้วย Rx-xx-xx
   - 2.1 ขั้นตอนการเบิกแผ่นโลหะ คือ R1-xx-xx
   - 2.2 ขั้นตอนการเบิกอุปกรณ์ต่างๆ คือ R2-xx-xx
3. สำหรับขั้นตอนการเตรียมการก่อนเชื่อมโลหะ ใช้รหัสขึ้นต้นด้วย Px-xx-xx ประกอบด้วย
   - 3.1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ คือ P1-xx-xx
   - 3.2 ขั้นตอนการขึ้นรูป คือ P2-xx-xx
4. สำหรับขั้นตอนการเชื่อมโลหะ ใช้รหัสขึ้นต้นด้วย Wx-xx-xx
   - 4.1 งานเชื่อมประกอบแท็งก์ คือ W1-xx-xx
   - 4.2 งานเชื่อมติดตั้งฝา Manhole คือ W2-xx-xx
   - 4.3 งานเชื่อมติดตั้ง Nozzle คือ W3-xx
   - 4.4 งานเชื่อมติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย คือ W4-xx-xx
5. สำหรับขั้นตอนการทดสอบคุณภาพแท็งก์แบบไม่ทำลาย (NDT) คือ T-xx-xx
6. สำหรับเอกสารที่เป็นแบบตรวจสอบสำหรับบันทึกการทำงาน ใช้รหัส คือ Xx-F-xx
7. สำหรับเอกสารที่เป็นแบบตรวจสอบสำหรับพนักงาน QC ใช้รหัส คือ Xx-Check-xx
8. สำหรับเอกสารที่เป็นขั้นตอนการดำเนิน (procedure) ใช้รหัส คือ Xx-PR-xx
9. สำหรับเอกสารที่เป็นมาตรฐานวิธีการทำงาน (work instruction) ใช้รหัส คือ Xx-WI-xx
10. สำหรับเอกสารที่เป็นมาตรฐานข้อกำหนด ใช้รหัส คือ Xx-STD-xx
11. สำหรับเอกสารที่เป็นมาตรการควบคุมขั้นตอนการผลิต ใช้รหัส คือ Xx-CP-xx
12. สำหรับเอกสารในการฝึกอบรมที่เป็นแผ่นภาพ ใช้รหัสคือ Xx-TP-xx
13. สำหรับเอกสารในการฝึกอบรมที่เป็นวิดีทัศน์ ใช้รหัสคือ Xx-TV-xx
14. สำหรับเอกสารแบบทดสอบความรู้ช่างเชื่อม ใช้รหัส คือ Xx-TT-01

สรุป รายการเอกสารที่สร้างขึ้นใหม่ในงานวิจัย แสดงดังตารางภาคผนวก ค-1

ตาราง ค-1 บัญชีรายการเอกสารที่สร้างขึ้นในงานวิจัย

รหัสเอกสาร	ชื่อเอกสาร	ประเภทเอกสาร
QP-01	แผนคุณภาพกระบวนการผลิตแท็งก์	แผนคุณภาพ
R1-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเบิกแผ่นโลหะ	แบบตรวจสอบ
R1-CP-01	มาตรการควบคุมขั้นตอนการเบิกวัสดุ	แผนควบคุม
R2-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเบิกอุปกรณ์	แบบตรวจสอบ
P1-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	แบบตรวจสอบ
P1-WI-01	วิธีการบากร่องแผ่นโลหะ	มาตรฐานวิธีการทำงาน
P1-CP-01	มาตรการควบคุมขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ	แผนควบคุม
T-F-01	แบบบันทึกผลการทดสอบ NDT	แบบบันทึก
P2-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการขึ้นรูป	แบบตรวจสอบ
W1-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมเสื้อแท็งก์	แบบตรวจสอบ
W1-F-02	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการเชื่อมประกอบแผ่นกั้นช่องและเชื่อมประกอบเสื้อแท็งก์	แบบตรวจสอบ
W1-CP-01	มาตรการควบคุมขั้นตอนการเชื่อมประกอบแท็งก์	แผนควบคุม
W2-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole	แบบตรวจสอบ
W2-CP-01	มาตรการควบคุมขั้นตอนการติดตั้งฝา manhole	แผนควบคุม
W3-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้ง nozzle	แบบตรวจสอบ
W3-CP-01	มาตรการควบคุมขั้นตอนการติดตั้ง nozzle	แผนควบคุม
W4-F-01	แบบตรวจสอบการทำงานขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	แบบตรวจสอบ
W4-CP-01	มาตรการควบคุมขั้นตอนการติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย	แผนควบคุม
W-Check-01	แบบตรวจสอบการปฏิบัติงานของช่างเชื่อม	แบบตรวจสอบ
W-Check-02	แบบตรวจสอบข้อบกพร่องด้วยสายตา	แบบตรวจสอบ
W-PR-01	ขั้นตอนการดำเนินงานฝึกอบรมช่างเชื่อม	ขั้นตอนการดำเนินงาน

ตาราง ค-1 บัญชีรายการเอกสารที่สร้างในงานวิจัย (ต่อ)

รหัสเอกสาร	ชื่อเอกสาร	ประเภทเอกสาร
W-STD-01	มาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา	มาตรฐาน ข้อกำหนด
W-Test-01	แบบทดสอบความรู้ช่างเชื่อม	แบบทดสอบ
W-WI-01	วิธีการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา	มาตรฐานวิธีการทำงาน
W-STD-01	มาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา	มาตรฐาน ข้อกำหนด
W-TP-01	บทเรียน: คุณภาพและสาเหตุการเกิดข้อบกพร่องจากการเชื่อมโลหะ	แผ่นภาพ
W-TV-01	บทเรียน: วิธีการป้อนเติมลวดเชื่อมสำหรับการเชื่อมTIG	วิดีทัศน์
W-TV-02	บทเรียน: วิธีการป้อนเติมลวดเชื่อม สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	วิดีทัศน์
W-TV-03	บทเรียน: วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะสำหับการเชื่อม TIG	วิดีทัศน์
W-TV-04	บทเรียน: วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะสำหับการเชื่อม MIG-MAG	วิดีทัศน์
W-TV-05	บทเรียน: วิธีการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม สำหรับการเชื่อม TIG	วิดีทัศน์
W-TV-06	บทเรียน: วิธีการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมสำหรับการเชื่อม MIG-MAG	วิดีทัศน์
W-TV-07	บทเรียน: วิธีการและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อมสำหรับการเชื่อม TIG	วิดีทัศน์
W-TV-08	บทเรียน: วิธีการและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อมสำหรับการเชื่อม MIG-MAG	วิดีทัศน์
W-TV-09	บทเรียน: วิธีการเลือกกระบวนการเชื่อมให้เหมาะสมกับประเภทของโลหะ	วิดีทัศน์
W-TV-10	บทเรียน: การเตรียมรอยต่อการเชื่อมที่เหมาะสม	วิดีทัศน์
W-TV-11	บทเรียน: วิธีกำหนดกระแสไฟให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะ สำหรับการเชื่อม TIG	วิดีทัศน์
W-TV-12	บทเรียน: วิธีกำหนดความดันไฟให้เหมาะสมกับชนิดของโลหะ สำหรับการเชื่อม MIG-MAG	วิดีทัศน์

สำหรับเอกสารที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการผลิตที่เดิมทางโรงงานฯ มีการใช้งานอยู่แล้ว ซึ่งเกี่ยวข้องกับแผนคุณภาพที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ ค-2

ตารางที่ ค-2 เอกสารเดิมที่ทางโรงงานฯ มีการใช้งาน

รหัสเอกสาร	**ชื่อเอกสาร**	**ประเภทเอกสาร**
แผนภาพแนวเชื่อม	เอกสารแท็งก์ต้นแบบ	แผนภาพ
WPS-01	มาตรฐานข้อกำหนดงานเชื่อมโลหะ	มาตรฐาน ข้อกำหนด
WPS-02	มาตรฐานข้อกำหนดงานเชื่อมโลหะ	มาตรฐาน ข้อกำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารการฝึกอบรม (W-TP-01)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**คุณภาพและผลกระทบจากข้อบกพร่องของการเชื่อม**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☐ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

การทำความสะอาดแผ่นโลหะก่อนการเชื่อม

ความสำคัญ : คุณภาพของการเชื่อมโลหะถือเป็นสิ่งสำคัญ เพราะมีผลโดยตรงต่อความปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งการผลิตแท็งก์บรรจุวัตถุอันตรายต้องมีการตรวจสอบคุณภาพแบบไม่ทำลายโดยหน่วยงานอิสระ (Independent Party) ดังนั้น การเชื่อมที่มีคุณภาพทำให้ผ่านการตรวจสอบและได้รับการรับรองตั้งแต่ในครั้งแรก ขณะเดียวกันถ้าการเชื่อมไม่มีคุณภาพ จะทำให้ไม่ผ่านการตรวจสอบ ซึ่งทางสถานประกอบการจะต้องเสียต้นทุนในการซ่อมแซมแก้ไขแท็งก์ ค่าแรงงานช่างเชื่อม สูญเสียเวลาในการทำงาน และสูญเสียค่าใช้จ่ายในการว่าจ้างหน่วยงานอิสระเข้ามาทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วย

<u>ประเด็นสำคัญ</u>

การทำความสะอาดพื้นผิวของแผ่นโลหะ สามารถป้องกันการฝังในของสิ่งสกปรกในรอยเชื่อม โดยหากละลายการทำความสะอาดสิ่งสกปรก เช่น คราบน้ำมันเครื่อง ออกไซด์ สนิมต่างๆ หรือความชื้นบนผิวแผ่นโลหะ เมื่อทำการเชื่อมสิ่งสกปรกเหล่านี้จะหลอมละลายและรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับรอยเชื่อม ทำให้รอยเชื่อมไม่ได้คุณภาพ เป็นสาเหตุทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภท รูพรุน ดังรูปที่ ง-1 มีผลต่อการตรวจสอบงานเชื่อมแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing, NDT)

ภาพประกอบ

การเกิดข้อบกพร่องรูพรุน บนพื้นผิวของรอยเชื่อม

รูปที่ ง-1 รูพรุนบนผิวของรอยเชื่อม

รูป ง-2 เปรียบเทียบรอยเชื่อมจากแผ่นโลหะที่ทำความสะอาดและไม่ทำความสะอาดก่อนเชื่อม

เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-01)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการป้อนเติมลวดเชื่อม (สำหรับการเชื่อม TIG)**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : ขณะทำการเชื่อม ลวดเชื่อมจะทำหน้าที่หลอมละลายไปพร้อมกับเนื้อของโลหะเพื่อเชื่อมรอยต่อโลหะให้ติดกันอย่างแข็งแรง ดังนั้น การเติมลวดเชื่อมจึงมีผลต่อคุณภาพของรอยเชื่อม รอยเชื่อมที่สมบูรณ์คือรอยเชื่อมที่มีการหลอมละลายของโลหะจนถึงส่วนล่างของรอยต่อ

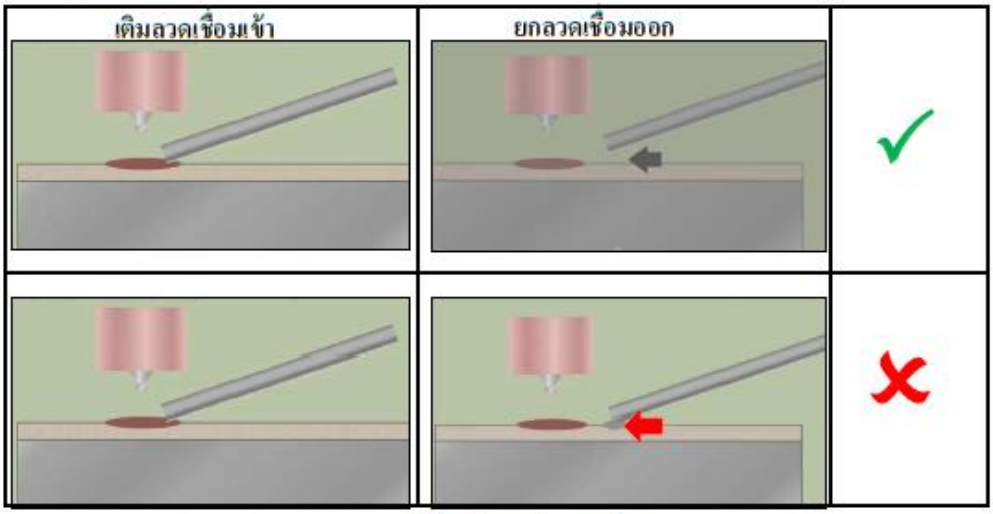
ประเด็นสำคัญ

1. ขณะเริ่มต้นอาร์ค ลวดเชื่อมจะต้องวางสัมผัสกับพื้นผิวโลหะบริเวณที่จะทำการเชื่อม และเมื่อเกิดการอาร์คจึงค่อยยกลวดเชื่อมออก โดยมีระยะอาร์คและจังหวะอาร์คที่สม่ำเสมอ
2. ไม่ควรเปลี่ยนแปลงทิศทาง ขนาดมุม จังหวะอาร์ค และระยะอาร์คของลวดเชื่อมขณะทำการเชื่อม เพราะมีผลต่อการหลอมละลายและการรวมตัวกันระหว่างเนื้อโลหะกับลวดเชื่อม ซึ่งจะทำให้ผิวหน้าของรอยเชื่อมมีลักษณะขรุขระ และไม่เรียบสม่ำเสมอ
3. จังหวะการอาร์ค คือ เติมลวดเชื่อมเข้า และ ยกลวดเชื่อมออก โดยมีระยะห่างและความเร็วที่สม่ำเสมอ ในจังหวะที่ดึงลวดเชื่อมออก ลวดเชื่อมไม่ควรวางอยู่บนผิวโลหะในบริเวณที่เชื่อมงาน (รูปที่ ง-3) เนื่องจากจะทำให้ลวดเชื่อมหลอมละลายติดกับผิวโลหะในตำแหน่งที่วางนั้น
4. ระยะอาร์ค ระยะห่างระหว่างปลายลวดเชื่อมกับผิวหน้าของโลหะขณะเกิดการอาร์ค ระยะอาร์คที่เหมาะสมสำหรับลวดเชื่อมทังสเตน คือ ประมาณ 3 มิลลิเมตร*
5. ทิศทางการเคลื่อนที่ของลวดเชื่อมมีหลายแบบ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของรอยต่อและขนาดของแผ่นโลหะ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพประกอบ

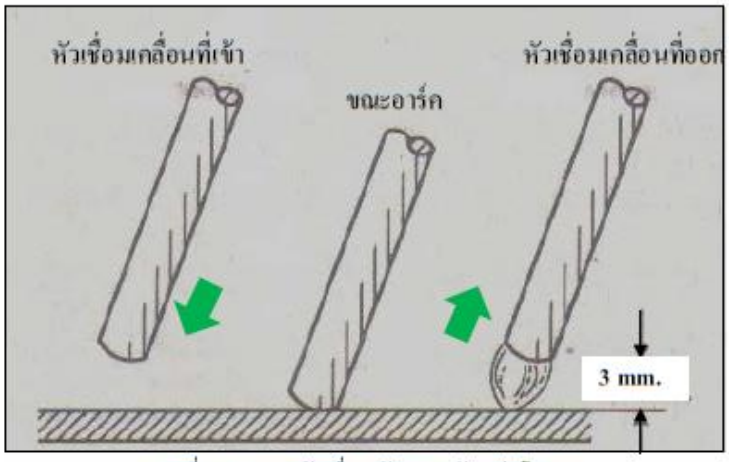
การเติมลวดเชื่อม



รูปที่ ง-3 การเติมลวดเชื่อม

(ที่มารูปภาพ : WeldFusionVideos (https://www.youtube.com/watch?v=ekll1g1srpI)

ระยะหัวเชื่อมทังสเตนกับแผ่นโลหะ



รูปที่ ง-4 ระยะหัวเชื่อมทังสเตนกับแผ่นโลหะ

(ที่มารูปภาพ : http://dc399.4shared.com/doc/WEmWPJX0/preview.html)

เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-02)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการควบคุมหัวเชื่อม (สำหรับการเชื่อม MIG - MAG)**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : ลวดเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการเชื่อม MIG เช่นเดียวกันกับการเชื่อม TIG แต่ลวดเชื่อมของการเชื่อม MIG จะอยู่เป็นองค์ประกอบหนึ่งในหัวเชื่อม โดยในการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่เหมาะสมหรือไม่เหมาะสมจะมีผลต่อคุณภาพของงานเชื่อมโดยตรง ได้แก่ การซึมลึกของการเชื่อม ความกว้าของรอยเชื่อมและอัตราเร็วของการเชื่อม เป็นต้น

<u>ประเด็นสำคัญ</u>

1. **ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อม**

<u>สำหรับการตั้งค่ากระแสไฟเท่ากัน</u>

- เมื่อเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 1/16 นิ้ว เปลวไฟเชื่อมที่เกิดขึ้นจะทำให้อัตราการเกิดเนื้อโลหะที่รอยเชื่อมและเกิดการซึมลึกมากกว่าการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่
- เมื่อเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1/16 นิ้ว หรือมากกว่า 1/16 นิ้ว ลวดเชื่อมขนาดใหญ่กว่า จะทำให้อัตราการเกิดเนื้อโลหะเกิดขึ้นมากกว่าและรอยเชื่อมมีขนาดกว้างกว่าการเลือกใช้ลวดเชื่อมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก

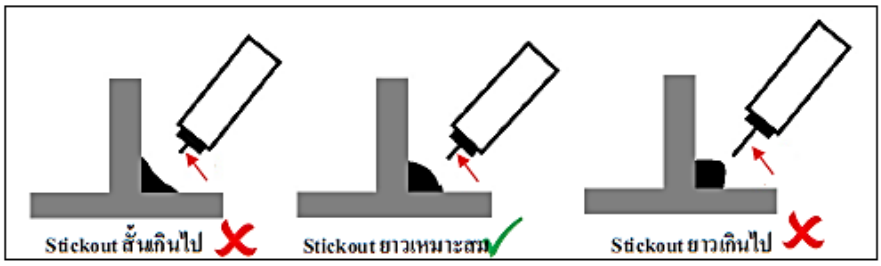
2. **ความยาวของลวดเชื่อมที่ยาวเกินจากขอบของหัวเชื่อมหรือหัวฉีดแก๊ส เรียกว่า stickout**

stickout เป็นปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของรอยเชื่อม เนื่องจากขนาดของ stickout สัมพันธ์กับอัตราการหลอมตัวของลวดเชื่อม นอกจากนี้ stickout ยังมีผลต่อค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม ดังนั้น เมื่อค่ากระแสไฟเปลี่ยนแปลง จึงส่งผลให้การซึมลึกรอยเชื่อมก็เปลี่ยนแปลงด้วย

การเปลี่ยนแปลงความยาว stickout	**ผลของการเปลี่ยนแปลงความยาวของ stickout**
เมื่อความยาวของ stickout เพิ่มขึ้น	- รอยเชื่อมมีความนูนมากขึ้น - ค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม ลดลง ส่งผลให้ การซึมลึกของรอยเชื่อม ลดลง และความกว้างของรอยเชื่อมลดลง
เมื่อความยาวของ stickout ลดลง	- รอยเชื่อมมีความนูนลดลง - ค่ากระแสไฟที่ใช้ในการเชื่อม เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ การซึมลึกของรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้น และความกว้างของรอยเชื่อมเพิ่มมากขึ้น

ภาพประกอบ

ความแตกต่างของรอยเชื่อม จากการกำหนดความยาวของลวดเชื่อมที่ยาวเกินจากขอบของหัวเชื่อม (stickout) ที่ความยาวสั้นเกินไป ยาวเกินไป และความยาวปกติ



รูปที่ ง-5 ความแตกต่างของความยาว stickout

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-03)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ (สำหรับการเชื่อม TIG)**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : ขนาดของมุม ของหัวเชื่อมและลวดเติมที่ทำกับแผ่นโลหะขณะดำเนินการเชื่อม มีความสำคัญต่อคุณภาพในการเชื่อม การเชื่อมที่ใช้มุมไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องประเภท รูพรุน (Porosity) เนื่องจากมีอากาศเข้ามารวมตัวกับเนื้อโลหะในแนวเชื่อม

<u>ประเด็นสำคัญ</u>

1. ขณะทำการเชื่อม มุมของหัวเชื่อมที่ทำกับแผ่นโลหะ ควรเอียงทำมุมประมาณ 45 – 60 องศา
2. ส่วนมุมของลวดเติม ขณะเชื่อม ควรเอียงทำมุมประมาณ 15 – 20 องศา
3. การเอียงหัวเชื่อม มากกว่า 60 องศา จะทำให้อากาศเข้าไปรวมตัวกับเนื้อโลหะในแนวเชื่อม ทำให้เกิดฟองอากาศในแนวเชื่อม เป็นข้อบกพร่องจากการเชื่อมประเภท รูพรุน** (porosity)

** เมื่อมีการทดสอบแบบไม่ทำลาย แล้วพบรูพรุนในแนวเชื่อม จะทำให้ไม่ผ่านการทดสอบด้วยรังสี (Radiographic Testing: RT) (อ้างอิงจาก มาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers ASME Boiler And Pressure Vessel Code, Section V, An International Code, Non Destructive Examination)

ภาพประกอบ

รูปที่ ง-6 มุมที่เหมาะสมของหัวเชื่อม
(ที่มารูปภาพ:
http://www.popularhotrodding.com/tech/1112phr_tig_weld_like_a_pro/photo_26.html)

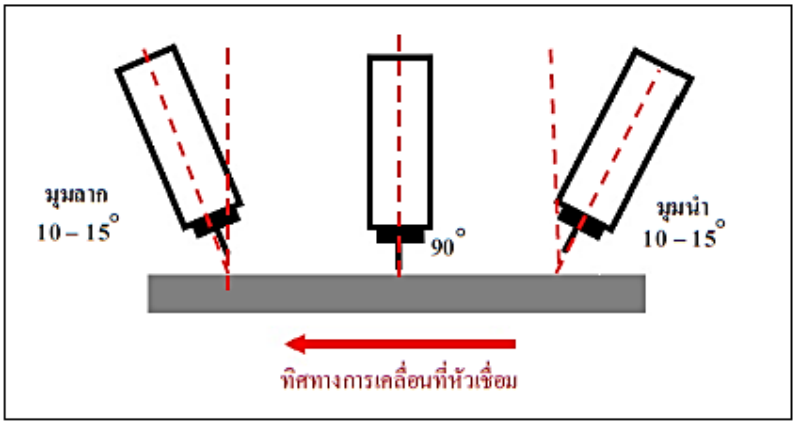
เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-04)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ (สำหรับการเชื่อม MIG / MAG)**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : มุมของหัวเชื่อมของการเชื่อม MIG / MAG เทียบได้กับมุมของลวดเชื่อมของการเชื่อม TIG ตำแหน่งการทำมุมของการเชื่อมที่ไม่เหมาะสม จะส่งผลต่อการข้อบกพร่องประเภทรูพรุน(porosity)

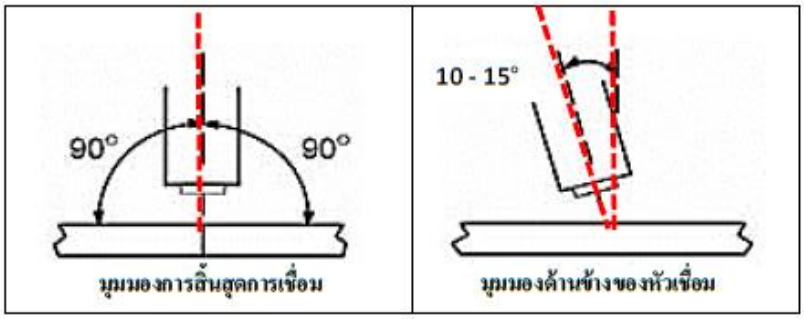
ประเด็นสำคัญ

1. ขนาดของมุมของหัวเชื่อม MIG / MAG ที่กระทำกับแนวรอยต่อของแผ่นโลหะ ขึ้นอยู่กับชนิดของรอยต่อและความหนาของชิ้นงานแผ่นโลหะ สำหรับการเชื่อมแบบต่อชน ขนาดของมุมที่เหมาะสมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 15 องศา
2. การทำมุมของหัวเชื่อมมี 2 แบบ คือ มุมลาก (backward) และมุมนำ (forward) แสดงดังรูป สำหรับมุมลาก รอยเชื่อมจะมีขนาดแคบและนูนสูง การซึมลึกจะเกิดขึ้นมาก เนื่องจากการทำมุมลาก จะทำให้เปลวไฟเชื่อมพุ่งตรงไปยังบ่อหลอมโลหะก่อให้เกิดความร้อนสูง รอยเชื่อมที่ได้มีรูปร่างค่อนข้างเหมือนวงกลมวางซ้อนๆกัน (rounded-bead contour) การใช้มุมลากประมาณ 10 องศา จะทำให้เกิดการซึมลึกของแนวเชื่อมสูงที่สุด และเมื่อลดค่ามุมลากลง รอยเชื่อมจะมีความนูนลดลงและความกว้างของรอยเชื่อมจะเพิ่มมากขึ้น
3. และสำหรับมุมนำ การซึมลึกของรอยเชื่อมจะตื้น รอยเชื่อมมีลักษณะแบนราบ การใช้มุมนำในการเชื่อมจะทำให้อัตราเร็วในการเชื่อมเพิ่มขึ้น

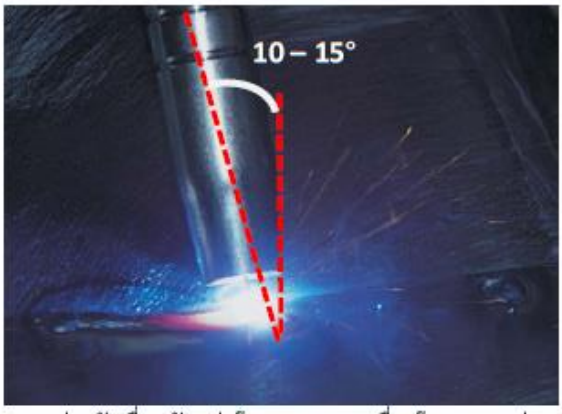
ภาพประกอบ



รูปที่ ง-7 มุมและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อม



รูปที่ ง-8 ขนาดมุมที่เหมาะสมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ



รูปที่ ง-9 การทำมุมระหว่างหัวเชื่อมกับแผ่นโลหะ ของการเชื่อมโลหะแบบต่อชน (groove weld)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

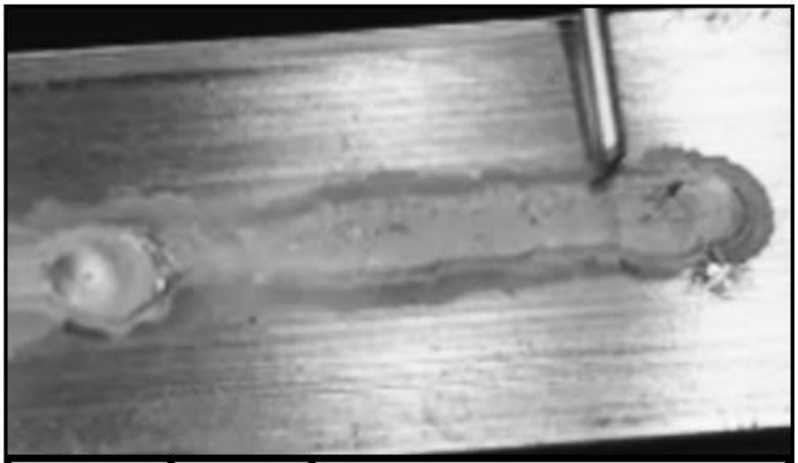
เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-05 และ W-TV-06)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม (สำหรับการเชื่อม TIG และ MIG / MAG)**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : ความเร็วในการเชื่อม มีผลต่อรูปร่างและความสวยงามของแนวเชื่อม อีกทั้งการเชื่อมที่ใช้ความเร็วไม่เหมาะสมนั้นมีผลต่อความแข็งแรงของงานเชื่อมอีกด้วย

ประเด็นสำคัญ

1. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมและลวดเติมต้องอยู่ใน**ความเร็วที่สม่ำเสมอ** แนวเชื่อมที่ได้จะมีความกว้างเหมาะสม และแนวเชื่อมความแข็งแรง ได้คุณภาพ
2. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมและลวดเติม**เร็วเกินไป** ความกว้างของแนวเชื่อมจะเล็กกว่าแนวเชื่อมที่ใช้อัตราเร็วปกติ อีกทั้ง การซึมลึกจะเกิดขึ้นน้อย ทำให้ความแข็งแรงของการเชื่อมน้อยไปด้วย
3. การเคลื่อนที่หัวเชื่อมและลวดเติม**ช้าเกินไป** ความกว้างของแนวเชื่อมจะมากกว่าปกติ โลหะเชื่อมจะหลอมละลายอยู่บริเวณนั้นเป็นจำนวนมากเกิดความสิ้นเปลืองและสูญเสียเวลาในการผลิต

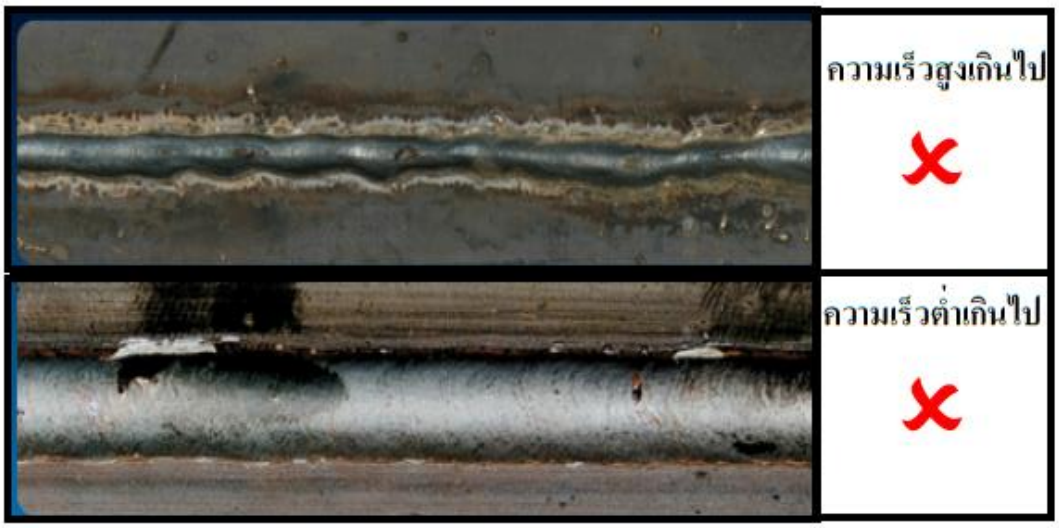
ภาพประกอบสำหรับการเชื่อม TIG



✗	✗	✓
ความเร็วต่ำ	ความเร็วสูง	ความเร็วเหมะสม

รูปที่ ง-10 รอยเชื่อมที่เกิดจากการใช้ความเร็วต่างกัน

ภาพประกอบสำหรับการเชื่อม MIG / MAG



รูปที่ ค-ง รอยเชื่อมที่เกิดจากการใช้ความเร็วต่างกัน
(ที่มารูปภาพhttp://www.millerwelds.com/resources/articles/Common-MIG-Weld-Defects-GMAW)

(“MIG Welding Tutorial”)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

("MIG Welding Tips")

เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-07 และ W-TV-08)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการและทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อม (สำหรับการเชื่อม TIG และ MIG - MAG)**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ: การส่ายหัวเชื่อม เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลักษณะการซึมลึกและรูปร่างของแนวเชื่อม การเคลื่อนที่หัวเชื่อมที่ถูกต้องจะไม่ทำให้เกิดขอบกพร่องประเภทรอยกัดแหว่ง (undercut) ทิศทางในการส่ายหัวเชื่อมมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับชนิดของรอยต่อ ขนาด/ความกว้างของแนวเชื่อมที่ต้องการ และตำแหน่งท่าในการเชื่อมด้วย

<u>ประเด็นสำคัญ</u>

- การส่ายหัวเชื่อมไป-มา ในลักษณะครึ่งวงกลม (แสดงทิศทางในรูปที่ ง-12) การส่ายหัวเชื่อมต้องควบคุมไม่ให้เปลวไฟออกนอกขอบเขตแอ่งโลหะที่กำลังหลอมเหลว
- ระยะห่างระหว่างเปลวไฟจากหัวเชื่อมกับผิวหน้าโลหะ ประมาณ 1/16 ถึง 1/8 นิ้ว
- ความกว้างของแนวเชื่อมที่มีคุณภาพ คือ ขนาดไม่ควรเกิน 5 เท่าของขนาดของลวดเชื่อม
- ขณะทำการเชื่อม การเปลี่ยนแปลงรูปแบบทิศทางการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อม มีผลโดยตรงต่อคุณภาพงานเชื่อม คือการเกิดรอยกัดแหว่งที่ขอบแนวเชื่อม
- **การเคลื่อนที่หัวเชื่อมและลวดเชื่อมที่เหมาะสม** คือการเคลื่อนที่ต้องมีความเร็วหรือจังหวะสม่ำเสมอ ทิศทางการเคลื่อนที่หัวเชื่อมต้องเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่เดียวกันตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการเชื่อม จึงจะทำให้แนวเชื่อมที่ได้มีความสวยงาม เกร็ดเชื่อมมีขนาดเท่ากันตลอดแนว
- **การเคลื่อนที่หัวเชื่อมและลวดเชื่อมที่ไม่เหมาะสม** คือการเคลื่อนที่มีความเร็วไม่สม่ำเสมอ มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนที่ของหัวเชื่อมและลวดเชื่อม ระหว่างดำเนินการเชื่อม เป็นผลทำให้แนวเชื่อม มีขนาดไม่เท่ากัน (แสดงในรูปที่ ง-13) และไม่สวยงาม

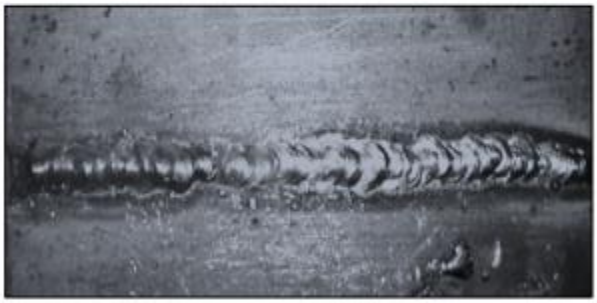
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาพประกอบ

รูปที่ ง-12 ทิศทางการเคลื่อนที่เชื่อมในวิถีทัศน์

คำอธิบายรูป

- เส้น แสดงถึง ทิศทางในการเคลื่อนที่ลวดเชื่อม
- จุดวงกลม แสดงถึง ตำแหน่งที่ทำการเติมลวดเชื่อม



รูปที่ ง-13 แนวเชื่อม ที่เกิดจากการส่ายหัวเชื่อมไปมาไม่สม่ำเสมอ (การเชื่อมแบบ MIG / MAG)
(ที่มารูปภาพ: http://bbznet.pukpik.com/scripts2)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-09)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	วิธีการการเลือกกระบวนการเชื่อมให้เหมาะสมกับโลหะ	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : การเชื่อมโลหะมีมากมายหลายประเภท การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับงานที่เชื่อม การเชื่อมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เช่น การเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) การเชื่อมใต้ฟลักซ์ (SAW) การเชื่อมโลหะก๊าซคลุม (GMAW) การเชื่อมอาร์คทังสเตนก๊าซคลุม (GTAW) การเชื่อมโลหะด้วยก๊าซออกซิ-อะเซติลีน (OAW) และการเชื่อมพลาสมา (PAW) เป็นต้น

ประเด็นสำคัญ : สำหรับเอกสารฉบับนี้จะกล่าวถึงการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (SMAW) หรือการเชื่อม MIG และการเชื่อมอาร์คทังสเตนก๊าซคลุม (GTAW) หรือการเชื่อม TIG

การเชื่อม MIG

- การเชื่อม MIG สามารถเชื่อมประสานโลหะและโลหะผสมเกือบทุกชนิดยกเว้น เหล็กกล้าคาร์บอน เนื่องจากไม่มีสแลกปกคลุมรอยเชื่อมเพื่อลดอัตราการเย็นตัวของรอยเชื่อม อาจทำให้เกิดการแตกร้าวได้
- การเชื่อม MIG ทำให้รอยเชื่อมมีคุณภาพสูง
- ไม่มีขี้ฟลักซ์หรือ สแลก (slag) เกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมจึงไม่มีปัญหาฟลักซ์หลอมรวมตัวกับแนวเชื่อม (slag inclusion)
- อุปกรณ์สำหรับการเชื่อมแบบ MIG ซับซ้อนมากกว่า และการใช้งานยุ่งยากกว่า

การเชื่อม TIG

- การเชื่อม TIG นิยมเชื่อมสแตนเลสและอะลูมิเนียม
- ไม่มีขี้ฟลักซ์หรือ สแลก (slag) เกิดขึ้นขณะทำการเชื่อมจึงไม่มีปัญหาฟลักซ์หลอมรวมตัวกับแนวเชื่อม (slag inclusion)
- การบิดงอของชิ้นงานภายหลังการเชื่อมเกิดขึ้นน้อย
- เกิดควันพิษ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของช่างเชื่อมน้อยกว่าการเชื่อมแบบอื่นๆ
- แนวเชื่อมมีคุณภาพสูงเช่นเดียวกับการเชื่อม MIG

CHULALONGKORN UNIVERSITY

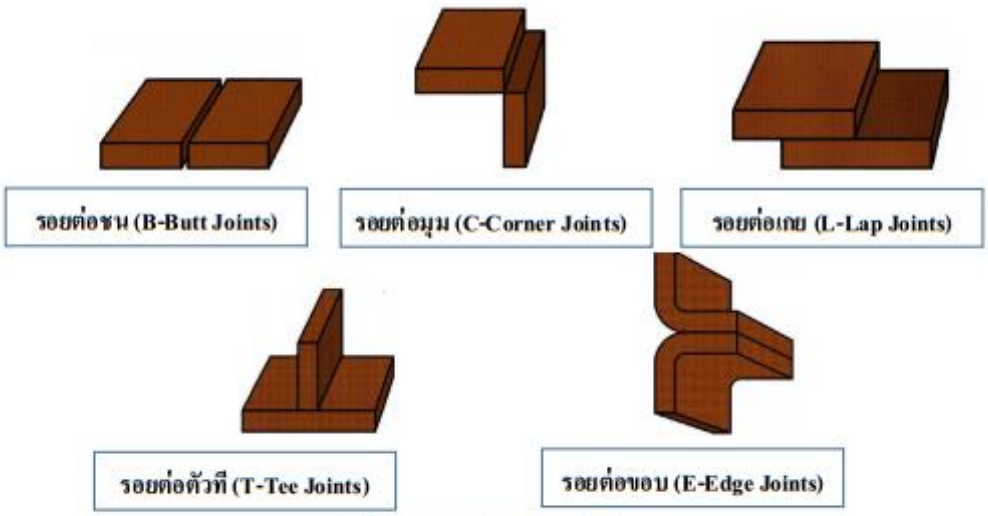
เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-10)		
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	**วิธีการเลือกใช้รอยต่อการเชื่อม**	
Welder Skill Level :	☑ Basic Skill	☐ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์	☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : การเตรียมรอยต่อการเชื่อมที่ไม่ถูกต้องหรือไม่เหมาะสม เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การเชื่อมเกิดข้อบกพร่องประเภท การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ (incomplete fusion) และอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้แท็งก์ไม่ผ่านการทดสอบแบบไม่ทำลาย (NDT)

สำหรับการออกแบบรอยของงานเชื่อม ขึ้นอยู่กับการออกแบบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน เพื่อให้สามารถรองรับแรงกระทำต่างๆ ได้

<u>ประเด็นสำคัญ</u> : ในงานเชื่อมโลหะแบ่งชนิดของรอยต่องานเชื่อมออกเป็น ชนิด รอยต่อชน (j-butt joints) รอยต่อขอบ (E-edge joints) รอยต่อเกย (L-lap joints)รอยต่อมุม (C-corner joints) รอยต่อตัวที (T-tee joints) แสดงดังรูปที่ ง-14

ภาพประกอบ



รูปที่ ง-14 รอยต่อของการเชื่อมโลหะ

เอกสารการฝึกอบรม (W-TV-11)	
บทเรียนเฉพาะเรื่อง	วิธีการกำหนดกระแสไฟให้เหมาะสมกับประเภทของโลหะ (สำหรับการเชื่อม TIG)
Welder Skill Level :	☐ Basic Skill ☑ Advance Skill
สื่อประกอบการเรียนรู้ :	☑ วีดีทัศน์ ☑ ภาพนิ่ง

ความสำคัญ : - กระแสไฟเชื่อม (Welding Current) มีผลต่อขนาดของรอยเชื่อมและการซึมลึก ซึ่งมีความสำคัญต่องานเชื่อมโลหะที่ต้องการความแข็งแรงและความสวยงามของรอยเชื่อม

- กระแสไฟเชื่อม ที่ใช้ในกระบวนการเชื่อม มี 3 ประเภท คือ ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ไฟฟ้ากระแสตรงลบ (DCEN) และ ไฟฟ้ากระแสตรงกลับขั้ว (DCEP) โดยการเลือกกระแสไฟที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ วัสดุที่จะทำการเชื่อม

<u>ประเด็นสำคัญ</u>

- สำหรับการเชื่อมแท็งก์ที่ใช้อะลูมิเนียมเป็นวัสดุ และมีความหนามากกว่า 3/32 นิ้ว หรือ 2.38 มิลลิเมตร กระแสไฟในกระบวนการเชื่อมที่ให้ คุณภาพงานเชื่อมดีที่สุดคือ ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับวัสดุหนา 3/16 นิ้ว อยู่ระหว่าง 190 – 240 แอมแปร์ และสำหรับวัสดุหนา 1/4 นิ้วใช้กระแสไฟ ประมาณ 120 แอมแปร์(สำหรับการเชื่อมในท่าราบ)

<u>กรณีใช้ปริมาณกระแสไฟ ไม่เหมาะสม</u>

- **การใช้กระแสไฟ ที่สูงเกินไป** จะทำให้รอยเชื่อม มีลักษณะแบนราบ อีกทั้งการซึมลึกในบากร่องจะเกิดขึ้นมากเกินไป เป็นสาเหตุที่จะก่อให้เกิดข้อบกพร่องงานเชื่อม รอยกัดแหว่ง (Undercut)
- **การใช้กระแสไฟ ที่ต่ำเกินไป** จะทำให้รอยเชื่อมมีลักษณะแคบและสูงนูนกว่าปกติ อีกทั้งการซึมลึกจะในบากร่องจะเกิดขึ้นน้อย

ภาพประกอบ

รูปที่ ง-15 รอยเชื่อมที่ใช้กระแสไฟ แตกต่างกัน

(ที่มารูปภาพ: http://www.thefabricator.com/article/arcwelding/the-gtaw-top-10/)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

(“TIG Welding Aluminum for Beginners: Steps 3 & 4” 2013)

ภาคผนวก จ

มาตรฐานวิธีการทำงาน

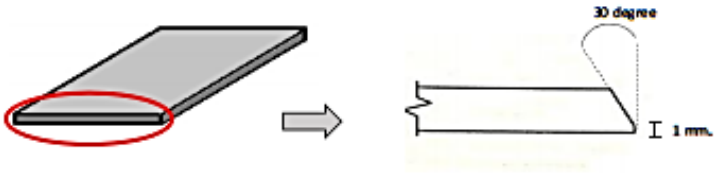
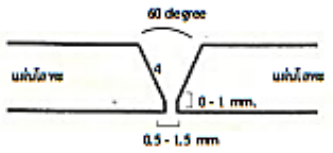
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเลขเอกสาร P1-WI-01

ขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)

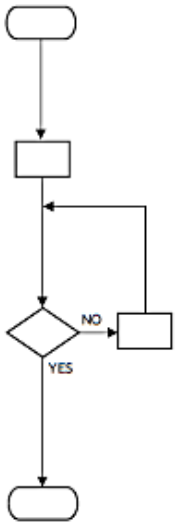
มาตรฐานวิธีการบากร่องแผ่นโลหะ

ขั้นตอนการผลิต	การเตรียมแผ่นโลหะ	
ผู้ปฏิบัติงาน	พนักงานฝ่ายเตรียมแผ่นโลหะ	
ผู้ตรวจสอบ	หัวหน้างาน	
ความถี่การตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ	
เครื่องมือที่ใช้	สายตาผู้ตรวจสอบ, สลับมเตร, V-WAC	
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	RQ1-F-01, PR1-F-01, เอกสารแจ้งก่อนแบบ	

ขั้นตอนการทำงาน	Flow
1. รับแผ่นโลหะจากพนักงานเบิก	
2. ตรวจสอบชนิด จำนวนและขนาดของแผ่นโลหะ ให้ตรงตามต้นแบบจากเอกสารแจ้งก่อนแบบ และบันทึกลงแบบตรวจสอบการทำงาน PR1-F-01 กรณีที่แผ่นโลหะไม่ตรงตามเอกสารแจ้งก่อนแบบ ให้ดำเนินการแจ้งแก่แผนกชิ้นส่วน เพื่อทำการสับเปลี่ยนให้ถูกต้อง	
3. ทำการเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการบากร่องแผ่นโลหะ ได้แก่ เครื่องเจียระไน (เครื่องเจียร), ล้อเจียร, อุปกรณ์ตะไบ และเครื่องมือวัด ได้แก่ V-WAD gauge สลับมเตร และ Vernier Caliper	
4. ทำการเจียรหรือบากร่องแผ่นโลหะ ตำแหน่งที่เป็นรอยต่อของการเชื่อมโลหะ โดยมีระยะดังนี้ 	
5. ทำการเจียรหรือบากร่องแผ่นโลหะจนครบ โดยแผ่นโลหะที่จะนำมาทำการเชื่อมต่อกันต้องมีระยะห่างดังนี้ 	
6. หัวหน้างานทำการตรวจสอบระยะการบากแผ่นโลหะว่าถูกต้องตามที่กำหนดหรือไม่ และบันทึกผลการตรวจสอบลงเอกสาร PR1-F-01 กรณีเกิดข้อบกพร่อง ให้หัวหน้างานแจ้งพนักงานถึงข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดนั้นเพื่อทำการแก้ไข พร้อมบันทึกข้อมูลข้อบกพร่องนั้นลงในเอกสาร PR1-F-01 ภายหลังการซ่อมแซมแก้ไขข้อบกพร่องจากพนักงาน หัวหน้างานจะต้องทำการตรวจสอบอีกครั้ง	
7. เมื่อผ่านการตรวจสอบแล้ว สามารถดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่อไปได้	

รูปที่ จ-1 มาตรฐานวิธีการทำงานขั้นตอนการเตรียมแผ่นโลหะ (P1-WI-01)

	หมายเลขเอกสาร W-WI-01
ขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)	
มาตรฐานวิธีการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา	
ขั้นตอนการผลิต	การเชื่อมประกอบแท็งก์, การติดตั้งฝา Manhole, การติดตั้ง Nozzle และ การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย
ผู้ปฏิบัติงาน	ช่างเชื่อม
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานแผนกควบคุมคุณภาพ
ความถี่การตรวจสอบ	การสุ่มตรวจ
เครื่องมือที่ใช้	สายตาผู้ตรวจสอบ, คลับเมตร, V-WAC
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	WD-Check-02, WD-STD-01

ขั้นตอนการทำงาน	Flow
1. รับแจ้งจากช่างเชื่อม แท็งก์พร้อมตรวจสอบจากขั้นตอนใดๆ (การเชื่อมประกอบแท็งก์, การติดตั้งฝา Manhole, การติดตั้ง Nozzle และ การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย) 2. วางแผนและสุ่มตรวจแนวเชื่อมทั้งด้านในและด้านนอกแท็งก์ 3. กรณีเกิดข้อบกพร่องที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับจากมาตรฐานการตรวจสอบ WD-STD-01 ให้ทำสัญลักษณ์ตรงข้อบกพร่องดังกล่าวบนตัวแท็งก์ พร้อมทั้งแจ้งให้ช่างเชื่อมผู้รับผิดชอบงานนั้นหรือหัวหน้าช่างเชื่อมทราบ และบันทึกข้อมูลข้อบกพร่องลงใน WD-Check-02 ภายหลังการซ่อมแซมแก้ไขข้อบกพร่องจากช่างเชื่อม พนักงาน QC ทำการตรวจสอบอีกครั้งแล้วบันทึกข้อมูลลง WD-Check-02 โดยในช่องตรวจสอบครั้งที่....ให้ใส่หมายเลข 2 4. เมื่อผ่านการตรวจสอบแล้ว สามารถดำเนินการผลิตในขั้นตอนต่อไปได้	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ จ-2 มาตรฐานวิธีการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-WI-01)

หมายเลขเอกสาร W-STD-01

มาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา

ขั้นตอนการผลิต	การเชื่อมประกอบแท็งก์, การติดตั้งฝา Manhole, การติดตั้ง Nozzle และ การติดตั้งฝาหัว-ฝาท้าย
ผู้ตรวจสอบ	พนักงานแผนกควบคุมคุณภาพ
เอกสารที่เกี่ยวข้อง	WD-Check-02, WD-WI-01

ตาราง เกณฑ์มาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา

ลักษณะข้อบกพร่อง	เกณฑ์การยอมรับได้	เครื่องมือ
รอยแตก (Crack)	ต้องไม่เกิด	สายตา
รอยตัดเหว่ง (Undercut)	ลึก ≤ 1 มม. หรือ ลึก ≤ 2.5 มม. หากความยาวรอยเชื่อมที่มีรอยตัดเหว่ง ลึกรวมกันไม่เกิน 50 มม. ต่อความยาวรอยเชื่อม 300 มม.	V-WAC Gauge V-WAC Gauge
รอยเชื่อมไม่ได้ขนาด (Undersized Weld)	ระยะของรอยเชื่อมที่ไม่ได้ขนาด รวมกันต้องไม่เกิน ร้อยละ 10 ของรอยเชื่อมทั้งหมด	คลิปแมตร
รอยนูน (Convexity)	ความกว้างขาเชื่อม W ≤ 8 มม. ความสูงรอยนูน ≤ 2 มม	V-WAC Gauge
รอยเชื่อมไม่เต็มร่อง (Underfill)	ต้องไม่เกิด	V-WAC Gauge

มาตรฐานอ้างอิง

1. มาตรฐานการตรวจสอบรอยเชื่อมโครงเหล็กรูปพรรณด้วยวิธีการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (มยผ. 1561-51 ถึง มยผ. 1565-51)
2. มาตรฐาน American Society of Mechanical Engineers ASME Boiler And Pressure Vessel Code, Section V, An Interantional Code, Non Destructive Examination, June 1, 2004 Edition, Printed in the United State of America.
3. มาตรฐาน American Welding Society AWS D1.1/D1.1M:2006: Structural Welding Code - Steel, An American National Standard, Printed in the United State of America, Reprinted March 2006.
4. มาตรฐาน British Standard BS EN 970-1997: Non Destructive Examination of Fusion Welds-Visual Examination.

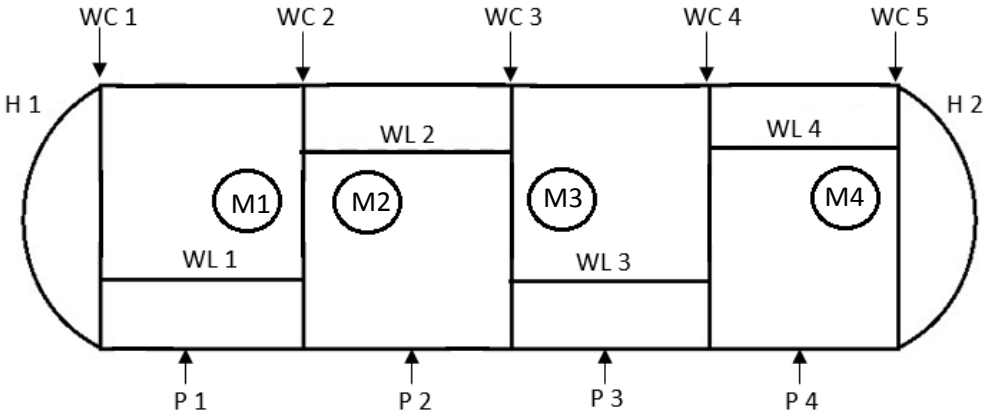
CHULALONGKORN UNIVERSITY

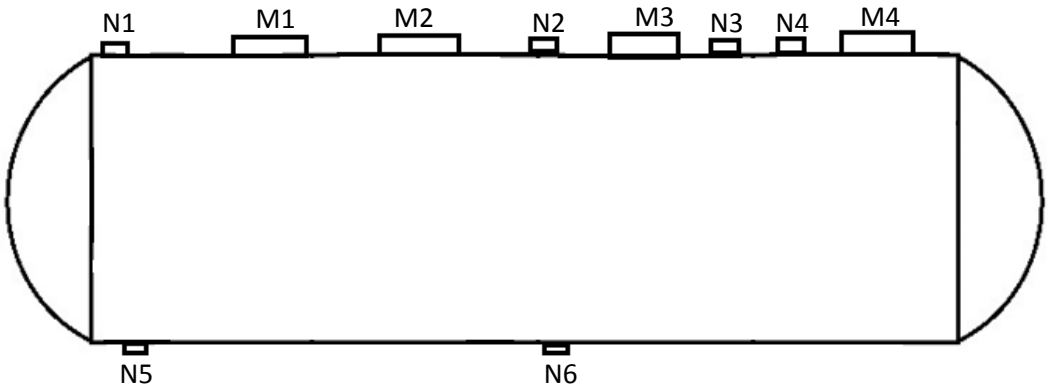
รูปที่ จ-3 มาตรฐานการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยสายตา (W-STD-01)

ตาราง จ-4 แบบบันทึกผลการทดสอบแท็งก์แบบไม่ทำลาย (T-F-01)

แบบบันทึกผลการทดสอบแท็งก์แบบไม่ทำลาย (NDT)										เอกสารหมายเลข T-F-01
ว/ด/ป ที่ทดสอบ	Tank No.	การทดสอบแบบไม่ทำลาย				ครั้งที่ทดสอบ	หน่วยงานตรวจสอบ	ผลการทดสอบ		หมายเหตุ (สาเหตุที่ไม่ผ่านการทดสอบ)
		RT	UTM	PT	HT			ผ่าน	ไม่ผ่าน	

เอกสารแท็งก์ต้นแบบ Page 1	
แท็งก์ต้นแบบ **ตำแหน่งการเชื่อม**	
วัน/เดือน/ปี	**Customer:**
DRAWING NO.	**Project name: L4BN TANK-TRUCK**





รูปที่ จ-5 เอกสารแท็งก์ต้นแบบ

เอกสารหมายเลข **WPS-01**

Welding Procedure Specification (WPS)

Company Name

Welding Procedure Specification no. -

Revision no. 0 Date -

Welding Process(es) 1/ GMAW 2/ -

Impact Test Requirement ☐ Yes ☑ No

By (Sign/Date)

Date

Supporting PQR no.(s)

Type(s) 1/ Semi-Auto /or Machine

2/ -

JOINTS (QW-402)

Joint Design Butt joint (Single V-groove)

Backing ☑ Yes ☐ No

Backing Material (Type) 1/ Weld metal

2/ -

☐ Metal ☐ Nonfusing Metal

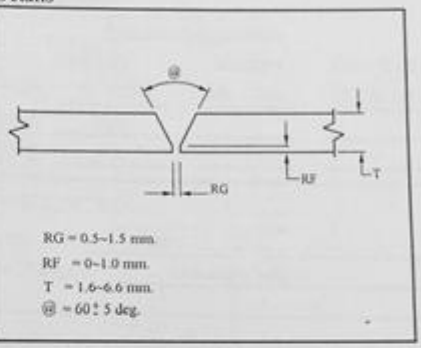
☐ Nonmetallic ☑ Other (Weld Metal)

Applicable of Tack Welding ☑ Yes ☐ No

Applicable of Repair Welding ☑ Yes ☐ No

Retainer None

Details



RG = 0.5~1.5 mm.
RF = 0~1.0 mm.
T = 1.6~6.6 mm.
= 60 ± 5 deg.

BASE METALS (QW-403)

P-No. NA Group no. - to P-no. NA Group no. -

Specification Type and Grade JIS G 3101 : SS 400 to JIS G 3101 : SS 400

Chem. Analysis and Mech. Prop. NA to NA

Base Metal Thk. Range (T, mm.) Groove 1.6 ~ 6.6 mm. Fillet Unlimited

Pipe Dia. Range Groove O.D. Over 24" Fillet Unlimited

Other *No t pass > 1/2"*

FILLER METALS (QW-404)

Spec. no. (SFA)	1/	5.18	2/	-
AWS no. (Class)	1/	ER 70S-6	2/	-
F-no.	1/	6	2/	-
A-no.	1/	1	2/	-
Size of Filler Metals	1/	∅ 0.9 ~ 1.2 mm.	2/	-
Deposited Weld Metal Thk. Range (t, mm.)				
Groove	1/	6.6 mm. (Max.)*	2/	-
Fillet	1/	Unlimited	2/	-
Type-wire	1/	Solid wire	2/	-
Electrode-Flux (class)		NA		
Flux Trade Name		NA		
Consumable Insert		None		

Other * *For the low voltage short-circuiting type of **GMAW** process when the deposited weld metal thk. is less than 1/2", an increase in deposited weld thk.beyond 1.1 times that of qualification test **t**.*

เอกสารหมายเลข **WPS-02**

Welding Procedure Specification (WPS)

POSITIONS (QW-405)

Position of Groove 1/ 1G 2/ -
Welding Progression : Up - Down -
Position(s) of Fillet 1/ 1F 2/ -

POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407)

Temperature Range (NO PWHT) °C
Time Range NA hr.
Other None

PREHEAT (QW-406)

Preheat Temp. Min. 10 °C
Interpass Temp. Max. 250 °C
Preheat Maintenance Cool in air
Other None

GAS (QW-408)

	Gas(es)	Mixture	Flow Rate
	Percent Composition		
Shielding	$Ar + Co_2$	80% + 20%	15 - 25 Cfm.
Trailing	NA	-	-
Backing	NA	-	-

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409)

Current AC or DC 1/ DC 2/ - Polarity 1/ EP 2/ -
Amps (Range) See table below Volts (Range) See table below
Tungsten Electrode Size and Type NA
Mode of Metal Transfer for GMAW Short circuit
Electrode Wire Feed Speed Range 540 cm/minutes

TECHNIQUE (QW-410)

String or Weave Bead 1/ String 2/ -
Orifice or Gas Cup Size 10 - 15 mm.
Initial and Interpass Cleaning Grinding and/or wire brushing
Method of Back Gouging Grinding
Oscillation NA
Contact Tube to Work Distance 8 - 12 mm.
Multiple or Single Pass (per side) Multiple
Multiple or Single Electrodes Single
Travel Speed (Range) See table below
Peening None
Other NA

Weld Layer(s)	Process(es)	Filler Metal Class	Filler Metal Dia.	Current Type Polar.	Current Amp.Range	Volt Range	Travel Speed Range: cm/minute	Otl Gas flo
All	GMAW	ER 70S-6	0.9-1.2 mm.	DCEP	50 - 160 A.	14 ~ 20 V.	15 - 20	15 - 2

ภาคผนวก ฉ

แบบทดสอบความรู้ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของช่างเชื่อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เอกสารหมายเลข W-TT-01

แบบทดสอบความรู้ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของช่างเชื่อม
ในสถานประกอบการสำหรับการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย

Page.1/3

ชื่อช่างเชื่อมทดสอบ: _____ วัน/เดือน/ปี_____ครั้งที่_____

ชื่อผู้ตรวจแบบทดสอบ: _____ คะแนนที่ได้ _____

1. คุณทราบหรือไม่ แก๊สปกคลุมสำหรับการเชื่อมแบบ TIG มีหน้าที่อย่างไร
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ทำให้สแลกมีน้อยลงและขจัดออกง่าย
ข. ทำให้รอยเชื่อมมีธาตุเจือสูงและเพิ่มคุณสมบัติทางกล
ค. ปกป้องบริเวณอาร์กไม่ให้อากาศเข้าไปรวมตัว
ง. ถูกทุกข้อ

2. คุณทราบหรือไม่ การเชื่อมแบบ TIG สำหรับกลุ่มโลหะเหล็กคาร์บอน นิยมเชื่อมกันเป็นส่วนน้อยเพราะอะไร
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. เพราะมีความยุ่งยากในการเชื่อม
ข. เพราะใช้เวลานานกว่าการเชื่อมแบบอื่น
ค. เพราะให้คุณภาพด้อยกว่า
ง. เพราะต้องปรับข้อมูลการเชื่อมบ่อยมาก

3. คุณทราบหรือไม่ อันตรายที่ร้ายแรงที่สุด ของการปฏิบัติการเชื่อม คืออะไร
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ขอบแหลมคมของชิ้นงาน
ข. เครื่องมือที่ใช้จับชิ้นงาน
ค. ควันเชื่อม
ง. การมองแสงอาร์กด้วยตาเปล่า

4. คุณทราบหรือไม่ ลวดเชื่อมชนิดไฮโดรเจนต่ำ ก่อนนำไปใช้งาน ต้องทำการอบลวดเชื่อมให้ร้อนก่อน เพราะเหตุใด
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. เพื่อให้การอาร์กง่าย และมีอัตราการหลอมละลายสูง
ข. เพื่อลดปริมาณความชื้นที่ลวดเชื่อม
ค. ช่วยเพิ่มความเร็วในการเชื่อม
ง. ใช้ไฟฟ้ากระแสต่ำในการเชื่อมได้

5. คุณทราบหรือไม่ ลวดเชื่อมประเภทที่มีสแลกแข็งตัวเร็ว เหมาะกับการเชื่อมตำแหน่งใด
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ตำแหน่งท่าราบ
ข. ตำแหน่งท่าแนวระดับ
ค. ตำแหน่งท่าตั้ง
ง. ตำแหน่งเหนือศีรษะ

6. คุณทราบหรือไม่ การปิดลิ้นวาล์วที่หัวเชื่อมแก๊ส จะต้องปิดลิ้นวาล์วอะไรก่อน
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ออกซิเจน
ข. อะเซทิลีน
ค. ปิดพร้อมกัน
ง. ปิดลิ้นวาล์วใดก่อนก็ได้

7. คุณทราบหรือไม่ ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกขนาดของลวดเชื่อมคืออะไร
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ชนิดของโลหะชิ้นงาน
ข. ความหนาของชิ้นงาน
ค. ชนิดของเปลวไฟ
ง. ถูกทุกข้อ

8. คุณทราบหรือไม่ การเชื่อมด้วยแก๊สจะกำหนดค่าปริมาณความร้อนในการเชื่อมโลหะที่หนาหรือบาง จากปัจจัยอะไร
   - ☐ ไม่ทราบ
   - ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ขนาดของหัวทิพ
ข. ชนิดของแก๊สเชื้อเพลิง
ค. ชนิดของเปลวไฟ
ง. ระยะห่างของกรวยไฟ

เอกสารหมายเลข W-TT-01

แบบทดสอบความรู้ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของช่างเชื่อม
ในสถานประกอบการสำหรับการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย

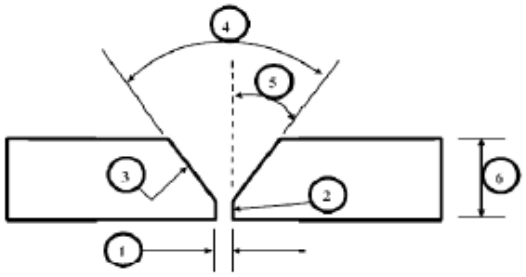
Page.2/3

9. คุณทราบหรือไม่ การตรวจสอบตำหนิหรือข้อบกพร่องบนพื้นผิวชิ้นงาน ต้องตรวจสอบด้วยวิธีใด

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ตรวจสอบด้วยผงเหล็ก
ข. ตรวจสอบด้วยน้ำยาแทรกซึม
ค. ตรวจสอบด้วย X-Ray
ง. ตรวจสอบด้วยอัลตร้าโซนิคส์

<u>รูปต่อไปนี้ ใช้สำหรับตอบคำถามข้อ 13- 16 เป็นความรู้สำหรับการเตรียมงานเชื่อม</u>



10. คุณทราบหรือไม่ การตรวจสอบงานเชื่อมด้วยวิธีใด ที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตมากที่สุด

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ตรวจสอบด้วยผงเหล็ก
ข. ตรวจสอบด้วยน้ำยาแทรกซึม
ค. ตรวจสอบด้วย X-Ray
ง. ตรวจสอบด้วยอัลตร้าโซนิคส์

13. คุณทราบหรือไม่ หมายเลข 1 หมายถึงการกำหนดอะไร

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ผิวหน้าร่องของรอยต่อ
ข. ผิวหน้าส่วนรากของรอยต่อ
ค. ช่องห่างระหว่างชิ้นงานที่ต่อตรงส่วนราก
ง. ความหนาของชิ้นงาน

11. คุณทราบหรือไม่ การเชื่อมแบบ MIG ระยะอาร์กสามารถควบคุมได้จากค่าอะไร

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ค่าแรงดันไฟเชื่อม หรือ ค่าโวลต์
ข. ค่ากระแสไฟเชื่อม หรือ แอมแปร์
ค. มุมของหัวเชื่อมที่ทำกับชิ้นงาน
ง. วิธีการเดินหัวเชื่อมและการส่ายหัวเชื่อม

14. คุณทราบหรือไม่ หมายเลข 2 หมายถึงการกำหนดอะไร

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ผิวหน้าร่องของรอยต่อ
ข. ผิวหน้าส่วนรากของรอยต่อ
ค. ช่องห่างระหว่างชิ้นงานที่ต่อตรงส่วนราก
ง. ความหนาของชิ้นงาน

12. คุณทราบหรือไม่ ข้อด้อยของการเชื่อมแบบ MIG คืออะไร

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. การเชื่อมใช้เวลานานและไม่ต่อเนื่อง
ข. เป็นการเชื่อมด้วยมือ จึงขึ้นอยู่กับทักษะของช่างเชื่อม
ค. มีเม็ดโลหะกระเด็นมาก จึงต้องกำจัดสแลกออกทุกครั้ง
ง. การติดตั้งเครื่องเชื่อมซับซ้อน เพราะต้องมีระบบแก๊สปกคลุมด้วย

15. คุณทราบหรือไม่ หมายเลข 4 หมายถึงการกำหนดอะไร

☐ ไม่ทราบ
☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด)

ก. ผิวหน้าร่องของรอยต่อ
ข. ผิวหน้าส่วนรากของรอยต่อ
ค. มุมรวมของร่องเชื่อม
ง. มุมเอียงของรอยเชื่อม

เอกสารหมายเลข W-TT-01

แบบทดสอบความรู้ คุณลักษณะที่พึงประสงค์ของช่างเชื่อม ในสถานประกอบการสำหรับการผลิตแท็งก์บรรจุสารเคมีอันตราย

Page.3/3

16. คุณทราบหรือไม่ ขนาดมุมตำแหน่งหมายเลข 5 ควรมีขนาดเท่าใด ☐ ไม่ทราบ ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด) ก. 30 องศา ข. 45 องศา ค. 60 องศา ง. 90 องศา	19. คุณทราบหรือไม่ ข้อใดเป็นองค์ประกอบในการเลือกลวดเชื่อม ☐ ไม่ทราบ ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด) ก. ชนิดของแผ่นโลหะ ข. ความหนาของแผ่นโลหะ ค. ชนิดของเปลวไฟเชื่อม ง. ถูกทุกข้อ
17. คุณทราบหรือไม่ ขั้นตอนสุดท้ายของวิธีการเตรียมงานก่อนทำการเชื่อม คือ ขั้นตอนใด ☐ ไม่ทราบ ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด) ก. การวางตำแหน่งของชิ้นงาน ให้เป็นไปตามต้นแบบ ข. การตรวจสอบจากหัวหน้างาน และ QC ค. การทำความสะอาด พื้นผิวชิ้นงาน ง.การตัดหรือเจียร์ชิ้นงาน ให้มีขนาดเท่า ต้นแบบ	20. คุณทราบหรือไม่ การเชื่อม “Nozzle” สำหรับแท็งก์ที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ต้องเลือกใช้ การเชื่อมแบบใด ☐ ไม่ทราบ ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด) ก. การเชื่อมแบบอาร์กโลหะปกคลุม (SMAW) ข. การเชื่อมแบบโลหะใช้แก๊สปกคลุม (GMAW) ค. การเชื่อมแบบอาร์กทังสเตนใช้แก๊สปกคลุม (GTAW) ง. ใช้การเชื่อมแบบใดก็ได้
18. คุณทราบหรือไม่ ในขั้นตอนการเชื่อมฝาหน้า และฝาหลัง (Dished Head) สำหรับแท็งก์ที่ทำจาก สเตนเลส (Standless steel) ต้องเลือกใช้การเชื่อมแบบใด ☐ ไม่ทราบ ☐ ทราบ (กรุณาเลือกคำตอบที่ถูกที่สุด) ก. การเชื่อมแบบอาร์กโลหะปกคลุม (SMAW) ข. การเชื่อมแบบโลหะใช้แก๊สปกคลุม (GMAW) ค. การเชื่อมแบบอาร์กทังสเตนใช้แก๊สปกคลุม (GTAW) ง. ใช้การเชื่อมแบบใดก็ได้	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ช

ข้อมูลการวัดประสิทธิภาพการทำงานของช่างเชื่อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช-1 สัดส่วนคะแนนที่เพิ่มขึ้นจากการทำแบบทดสอบความรู้ของช่างเชื่อม

คุณลักษณะของช่างเชื่อมโลหะของช่างเชื่อมที่พึงประสงค์	สัดส่วนที่เพิ่มขึ้น (เปอร์เซ็นต์)
ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ TIG	54.55
ความรู้ในการเลือกใช้ขนาดและชนิดของกระแสไฟ MIG-MAG	45.45
ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ MIG-MAG	45.45
การเตรียมวัสดุ/อุปกรณ์การเชื่อมได้อย่างถูกต้อง	32.73
ความรู้เกี่ยวกับข้อดีข้อเสียของการเชื่อมแบบ TIG	30.30
ความรู้เกี่ยวกับคุณภาพและข้อบกพร่องที่เกิดจากการเชื่อม	25.45
ความสามารถในการอ่านแบบก่อนการปฏิบัติงาน	18.18
ความรู้ในการเลือกใช้ลวดเชื่อม (TIG และ MIG-MAG)	18.18
การรู้วิธีการป้องกันอุบัติเหตุ	18.18
ความรู้ในการเลือกใช้ท่าเชื่อมที่ถูกต้อง	9.09

ตารางที่ ช-2 เปรียบเทียบคะแนนจากแบบทดสอบช่างเชื่อม 11 คน

ช่างเชื่อม	คะแนนจากแบบทดสอบ (เปอร์เซ็นต์)		สัดส่วนคะแนนที่เพิ่มขึ้น
	ก่อนการฝึกอบรม	หลังการฝึกอบรม	
ช่างเชื่อม 1	100	100	0
ช่างเชื่อม 2	85	90	5
ช่างเชื่อม 3	25	85	60
ช่างเชื่อม 4	15	70	55
ช่างเชื่อม 5	15	45	30
ช่างเชื่อม 6	80	95	15
ช่างเชื่อม 7	80	95	15
ช่างเชื่อม 8	75	95	20
ช่างเชื่อม 9	20	70	50
ช่างเชื่อม 10	20	55	35
ช่างเชื่อม 11	20	60	40
		ค่าเฉลี่ย	29.55

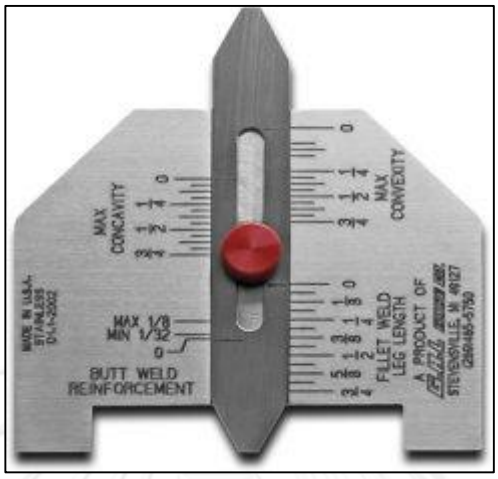
ภาคผนวก ซ

เครื่องมือการวัดแนวเชื่อม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เครื่องมือวัด automatic weld size gauge

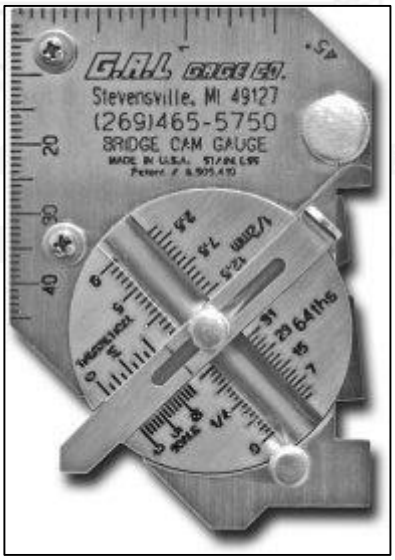
เครื่องมือวัด automatic weld size gauge ราคาประมาณ 897.28 บาท แสดงตัวอย่างเครื่องมือวัด ดังรูปที่ ซ-1



รูปที่ ซ-1 เครื่องมือ automatic weld size gauge

เครื่องมือ pocket bridge cam gauge

เครื่องมือ pocket bridge cam gauge มีราคาประมาณ 3,724.67 บาท แสดงตัวอย่างเครื่องมือ ดังรูปที่ ซ-2



รูปที่ ซ-2 เครื่องมือ pocket bridge cam gauge

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรพร นาคประสงค์ เกิดวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เมื่อปี พ.ศ. 2554 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University